FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA

Núcleo de Ciências e Tecnologia

Programa de Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente

AVALIAÇÃO DAS IMAGENS DO SENSOR LANDSAT 5 TM PARA DETERMINAÇÃO DE ÁREAS ATINGIDAS PELOS INCÊNDIOS FLORESTAIS E QUEIMADAS

SAMUEL RIBEIRO MARQUES

Porto Velho (RO)
2009

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA
Núcleo de Ciências e Tecnologia

AVALIAÇÃO DAS IMAGENS DO SENSOR LANDSAT 5 TM PARA DETERMINAÇÃO DE ÁREAS ATINGIDAS PELOS INCÊNDIOS FLORESTAIS E QUEIMADAS

SAMUEL RIBEIRO MARQUES

Orientador: Prof. Dr. Dorisvalder Dias Nunes

Dissertação de Mestrado apresentada junto ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente, Área de Concentração em Políticas Públicas, para obtenção do Título de Mestre em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente.

Porto Velho (RO)
2009

FICHA CATALOGRÁFICA

BIBLIOTECA PROF. ROBERTO DUARTE PIRES

M3573a

Marques, Samuel Ribeiro

Avaliação das imagens do sensor Landsat 5 TM para determinação de áreas atingidas pelos incêndios florestais e queimadas / Samuel Ribeiro Marques. Porto Velho, Rondônia, 2011.

42f.: il.

Dissertação (Mestrado Desenvolvimento Regional e meio ambiente) Fundação Universidade Federal de Rondônia / UNIR.

Orientador: Prof. Dr. Dorisvalder Dias Nunes

1. Incêndio florestal 2. Queimada 3. Sensoriamento remoto - Landsat 5 TM. Estimativa - área queimada I. Nunes, Dorisvalder Dias. Título.

CDU: 504.11

Bibliotecária Responsável: Ozelina Saldanha CRB11/947

SAMUEL RIBEIRO MARQUES

AVALIAÇÃO DAS IMAGENS DO SENSOR LANDSAT 5 TM PARA DETERMINAÇÃO DE ÁREAS ATINGIDAS PELOS INCÊNDIOS FLORESTAIS E QUEIMADAS

Comissão Examinadora

Prof.Dr Dorisvalder Dias Nunes

Orientador

Prof Dr. Ene Glória da Silveira - UNIR

Membro Titular

Prof. Dr. Eliomar Pereira da Silva - UNIR

Membro Titular

Prof Dr. Antônio Cláudio Barbosa Rabello - UNIR

Membro Suplente

Porto Velho, 11 de Dezembro de 2009.

Resultado_____

D E D I C A T Ó R I A

Especialmente as pessoas da Amazônia que na percepção de esperança tiveram a vida marcada pelo esquecimento e subjugo do poder público.

A G R A D E C I M E N T O S

Agradeço a minha família pela cumplicidade e paciência e ao meu orientador pelo apoio.

SUMÁRIO

Considerações iniciais **1**

Introdução 1

Base de Dados 2

Programas 2

Localização da área de estudo 2

1. Politicas Públicas e os incêndios florestais na amazônia **4**

1.1. O uso do fogo 4

1.2. O fogo 5

1.3. Registro e monitoramento do fogo na Amazônia Legal 7

1.4. Sistemas de monitoramento orbitais 9

1.5. As Políticas Públicas e o fogo 11

1.6. Os focos de calor na Amazônia Legal 13

2. Procedimento para monitoramento orbital **17**

2.1. Sensoriamento remoto 17

2.2. Método 24

3. Resultados **25**

3.1. A identificação do fogo em imagem de satélite Landsat 5 TM 25

4. Conclusões **37**

5. Referências bibliográficas **38**

TABELAS

TABELA 1. Focos de calor registrados pela constelação de satélites metereológicos no período de 1998 a 2006 14

TABELA 2. Horário de cobertura do monitoramento dos focos de calor pelos satélites meteorológicos de 1998 a 2006. 15

TABELA 3. Correlação ou reincidência dos focos de calor em células de 8,4 km na amazônia legal entre 1998 a 2006. 16

TABELA 4. Avaliação da classificação das amostras de áreas queimadas obtidas através da assinatura espectral do grafite 1 eada biblioteca do jet propulsion laboratory – jpl. 27

TABELA 5. Matriz de correlação entre as bandas do Landsat 5 TM estimadas da cena 226/71 de 18/09/2007. 32

FIGURAS

FIGURA 1 Localização da área de estudo, Chapada dos Guimarães e Cuiabá/MT. 3

FIGURA 2 Ampliação do uso da terra entre 1980 e 1995 na Amazônia Legal. 4

FIGURA 3Acidentes naturais registrados no brasil entre 1991 a 2001.....5

FIGURA 4. Relação entre a distância do eixo da rodovia e o registro de focos de calor – todos os satélites, na amazônia legal entre 1998 e 2007. 17

FIGURA 5. Diagrama dos procedimentos para identificação das áreas queimadas nas imagens de satélite Landsat 5 TM. 25

FIGURA 6. Curva espectral de corpo de água antes e após correção atmosférica.....26

FIGURA 7. áreas classificadas sobre relevo movimentado com solo litólico (A) e sobre solo areno-argiloso obtidas através da assinatura espectral do grafite 1 E na imagem landsat 5 tm 226/71 de 18/09/2007. 28

FIGURA 8. Resposta espectral da vegetação (traço verde), água (traço azul), solo (traço amarelo) e fogo (traço roxo) distribuída respectivamente nas bandas 1, 2, 3, 4, 5, e 7 do Landsat 5 TM e extraídas da cena 226/71 de 18/09/2008. ..29

FIGURA 9. Mistura espectral entre asfalto e a assinatura espectral do Grafite 1 E A área urbana de cuiabá/mt obtida na imagem landsat 5 tm 226/71 de 18/09/2007. 29

FIGURA 10. Bandas do Landsat 5 TM ilustrando amostras de Água (A), solo exposto (B), vegetação (C) e área alterada pelo fogo (D). Banda 1 – azul, Banda 2 – verde, Banda 3 – vermelho, banda 4 – infravermelho próximo, banda 5 – infravermelho curto e banda 7 – infravermelho curto. 31

FIGURA 11. Comparativo entre a composição 5(R), 4(G), 3(B) e 7(R), 5(G), 3(B) para distinguir zonas úmidas – A, de áreas alteradas pelo fogo – B, na imagem Landsat 5 TM. 32

FIGURA 12. Imagem fatiada através do índice obtido pela razão das bandas 4 e banda 5 do Landsat 5 TM comparada a imagem original a direita. 33

FIGURA 13. Imagem fatiada – esquerda, através do índice obtido pela razão da banda 3 e banda 7 do Landsat 5 TM comparada com imagem original. 34

FIGURA 14. classificação através do modelo Máquina de Suporte a Vetores – esquerda, comparada a imagem original a direita. 35

SIGLAS

AVHRR	-	Advanced Very High Resolution Radiometer
CBERS	-	China-Brazil Earth Resources Satellite
CCD	-	Charged Coupled Device
EOS	-	Earth Observing System
EVI	-	Enhanced Vegetation Índex
GOES	-	Geostationary Operations Environmental Satellite
HDF	-	Hierarchical Data Format
IBAMA	-	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
INPE	-	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MAXVER	-	Maxima Verossimilhança
MODIS	-	Moderated Resolution Imaging Spectroradiometer
NASA	-	National Aeronautics and Space Administration
NIR	-	Near Infra-Red
NOAA	-	National Oceanic and Atmospheric Administration
OEMA	-	Organização Estadual de Meio Ambiente
PIN	-	Programa de Integração Nacional
TM	-	Thematic Mapper
UTM	-	Universal Transverse Mercator

RESUMO

A ampliação da ocupação da Amazônia ocorreu atrelada a programa de desenvolvimento regional dependentes de recursos externos para a geração de divisas voltadas a exportação. Esta ocupação ocorreu por investimento em infra-estrutura e programa de subsídios econômicos alternadas por ciclos recessivos/ inflacionários. Este modelo de ocupação voltada para o mercado externo gerou conflitos ambientais e sociais resultando num modelo de ocupação predatório pela continua incorporação de recursos naturais e conversão da cobertura vegetal. A conversão de floresta em áreas de uso na Amazônia Legal amplia-se anualmente de 13 mil a 21 mil km^2. O fogo tem sido utilizado como uma ferramenta tanto na abertura de novas áreas como na manutenção daquelas já alteradas. Para monitorar e controlar o uso do fogo desde o final da década de 80 o governo brasileiro através do INPE e do IBAMA vêm utilizando satélites da série NOAA, posteriormente MODIS e GOES. Todos estes recursos permitem quantificar os registros e determinar a localização pontual da área queimada com uma margem de erro espacial que pode chegar até quatro quilômetros. Com os dados deste programa já foi possível determinar as áreas em risco, prever o risco de fogo e determinar através de Portarias o período de proibição das queimadas. Contudo, os focos de calor não dão suporte a dimensão do impacto das queimadas em relação a área afetada. Torna-se necessário a busca de uma ferramenta que permita determinar distinguir as áreas queimadas das outras feições da paisagem. Para testar esta técnica foram utilizados os modelos de classificação e fatiamento nas imagens Landsat 5 TM, com resolução espacial de 30 metros. Estes processos de classificação e fatiamento são processos automáticos implementados em *softwares* comerciais e de código aberto, necessita-se, porém, a delimitação estatística dos limiares para separação das classes. Após a classificação foi verificada sua acurácia com utilização de amostras interpretadas como incêndio florestal. Pretende-se com a validação desta técnica facilitar a identificação das áreas queimadas em diferenciando-a das outras feições nas imagens de satélite como água e sombra.

Palavras chaves: Incêndio florestal, queimada, sensoriamento remoto, Landsa 5 TM, Estimativa área queimada.

ABSTRACT

The Amazon occupation occurred under regional developments programs adviser with external resources and focused on exportation. This process of occupation occurred with huge investment at infra-structure and economical subsidies. This predatory model of development focused on external market established socio and environmental conflicts with continuous incorporation of natural resources and deforestation. The Amazon forest cut grows up at 13 to 21 km^2 by year. The wildfire is one of ways utilized to perform deforestation or to maintain cleared habitats without noxious weeds. To monitor and control wildfires since 80 decades Brazilian Government utilized meteorological satellites NOAA followed by MODIS and GOES through INPE and IBAMA programs. Theses technological resources quantify and register fire spots occurrence with spatial error from one to four km. Theses governmental programs get advances at determination of risk zone classification, risk fire periods and subsidies to political strategies to define periods of wildfire prohibition. It is not possible to regard with respect affected area by monitoring of wildfire spots. In this way is necessary to use a tool that allow area estimative and distinguish landscape burned. Remote sensing techniques were tested with classification and density slice at Landsat 5 TM images with 30 meters of spatial resolution. These procedures of classification and slice are automatic process inserted at shareware or open sources softwares depending only of statistical estimative to class distinction. Following classification phase samples was utilized to estimate accuracy of wildfires interpretation. Expecting is to utilize this procedure to facility estimative of burned areas from another physiognomy of landscape.

Word keys: wildfire, burned area, remote sensing, Landsat 5 TM, burned area estimative.

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

INTRODUÇÃO

O uso do fogo está ligado diretamente à ocupação do solo na Amazônia Legal. Esta ferramenta tem sido utilizada indiscriminadamente e tem alterado ecossistemas, provocado danos materiais e incrementado a emissão de gases poluentes.

Os dados indicativos do uso do fogo ocorrem pelo monitoramento dos focos de calor detectados por satélites metereológicos desde a década de 80. Estes dados refletem a intensidade do uso do fogo, mas não permitem indicar a dimensão do espaço atingido.

Os ecossistemas são moldados pelo fogo sabe-se que nas áreas de Cerrado o uso intensivo do fogo promove a conversão de ambientes arbóreos para ambientes gramíneos lenhosos ou mesmo gramíneo. Nas áreas de floresta detectou-se que os incêndios florestais podem provocar a morte tanto da parte aérea como radicular das árvores.

Os danos materiais vão desde a perda de bens como o aumento das patologias respiratórias. Estimou-se que no Brasil a perda no período 1996 a 1999 foi de US$ 7,4 mi (MENDONÇA *et al*, 2004) ocasionado pelo uso do fogo. Estimou-se numa área de floresta primária queimada emitiu 49.2 Mg.ha-1 de carbono para a atmosfera após a queima (Graça *et al* 1999), isto gerou um eficiência de queima em torno de 34.8%. Esta percentagem é liberada diretamente para a atmosfera. Nesta mesma área foi estimado um total de 311 Mg.ha-1 de carbono (Graça *et al* 1999).

As imagens de satélite são utilizadas para monitorar os recursos naturais desde o seu lançamento na década de 70 do século XX. Os satélites possuem aplicações específicas variando assim a suas medidas no espaço, tempo e na quantidade de informação. No domínio do espaço tem-se pixels variando desde 0,05 km até 4 km. No tempo tem revisita diárias a mensais. Já na quantidade de informação tem níveis de 7 a 16 bits. A gama de opções são diversas para o monitoramento dos recursos naturais, mas a difusão de um modelo de monitoramento está associado a sua simplicidade de aplicação baseada em procedimentos coerentes e de custo acessível.

Já foram feitas algumas tentativas para se diferenciar o fogo das outras feições da paisagem. Porém os resultados ainda não descrevem a verdade de campo. Assim busca-se uma ferramenta para se determinar as feições da paisagem alteradas pelo fogo. Com isto seria possível avaliar aspectos como a quantidade da área alterada pelo fogo, determinar os habitats alterados, determinar a ação do fogo no domínio do tempo.

OBJETIVO

- Diferenciar áreas de incêndios florestais das outras feições da paisagem na imagem de satélite Landsat 5 TM.

BASE DE DADOS

Para se avaliar as ações do fogo na Amazônia Legal foi utilizada a Base de Dados vetoriais do sítio do www.ibama.gov.br de onde foi analisada as rodovias estaduais e federais. Os dados de incêndio florestal foram retirados do www.inpe.br/proarco.

Para se determinar e estimar a área alterada pelo fogo utilizada imagens de satélite Landsat 5 TM obtidas através de *download* do sitio www.inpe.br.

PROGRAMAS

Para analisar avaliar as ações do fogo sobre a Amazônia Legal foi utilizado o aplicativo ArcGis 9.1. Para determinar dos parâmetros de correlação entre o fogo e agentes físicos e sócio-econômicos foi utilizado pacote estatístico.

As imagens de satélite foram processadas e analisadas com o aplicativo Envi 4.5 e suas sub-rotinas FLAASH para correção atmosférica.

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O local escolhido para determinação da área queimada foi nos Domínios do Cerrado no Parque Nacional de Chapada dos Guimarães e entorno, Figura 1, que abrangem os municípios de Chapada dos Guimarães e Cuiabá ambas em Mato Grosso. Este sítio foi escolhido pela diversidade de coletas já realizadas previamente na região o que facilitaria a localização das feições fitofisionômicas, pedológicas e geológicas. Em Chapada dos Guimarães predomina cerrado sentido restrito, campo sujo, campo limpo e floresta estacional semidecidual. Estas fitofisionomias estão distribuídas sobre solo litólico distrófico, litólico eutrófico, latossolo vermelho-amarelo distrófico, latossolo vermelho-escuro distrófico, areia quartzosa álica, areia quartzosa hidromórfica e solos concrecionários (Santos *et al* 1997). O relevo é acidentado oscilando de 102 a 850 metros.

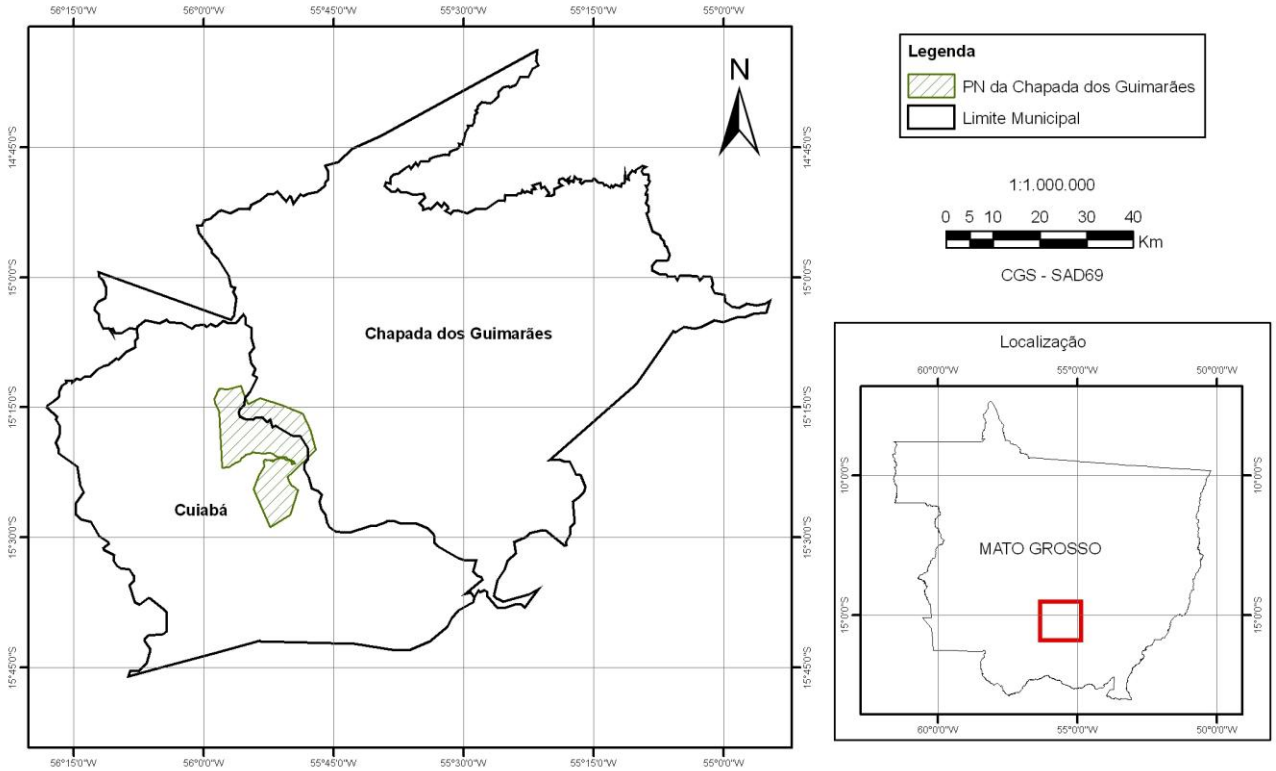


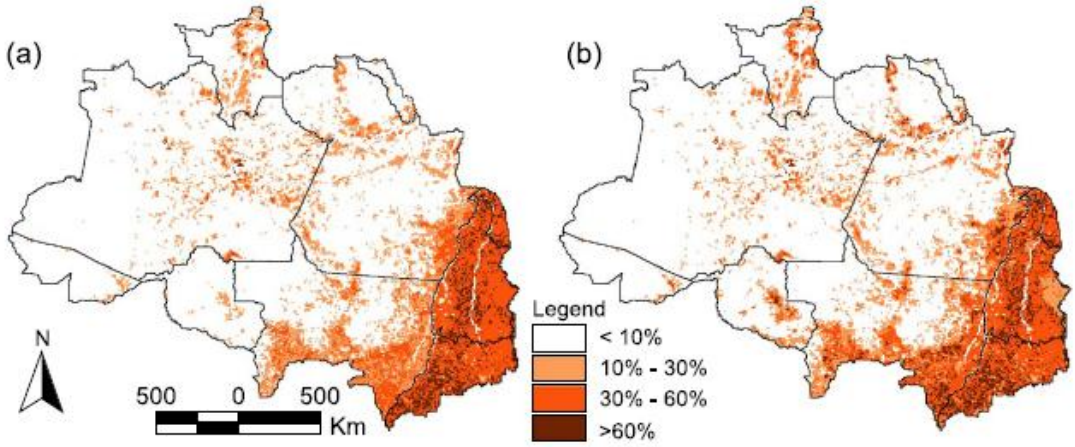
FIGURA 1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO, CHAPADA DOS GUIMARÃES E CUIABÁ/MT.

1. POLITICAS PÚBLICAS E OS INCÊNDIOS FLORESTAIS NA AMAZÔNIA

1.1. O USO DO FOGO

A preocupação sobre a ocupação e ordenamento territorial da Amazônia Legal já se tornou uma questão de âmbito internacional.

Como resultado da ocupação realizada por ciclos de investimento e abandono – controle inflacionário, implantou-se na Amazônia um economia predatória do uso dos recursos naturais com baixo investimento tecnológico e práticas extensivas. Este processo de ocupação amplia-se degradando habitats e ecossistemas que ameaçam a manutenção das comunidades tradicionais, da vida silvestre e dos recursos naturais, Figura 2.



Fonte: Cadille and Foley 2003

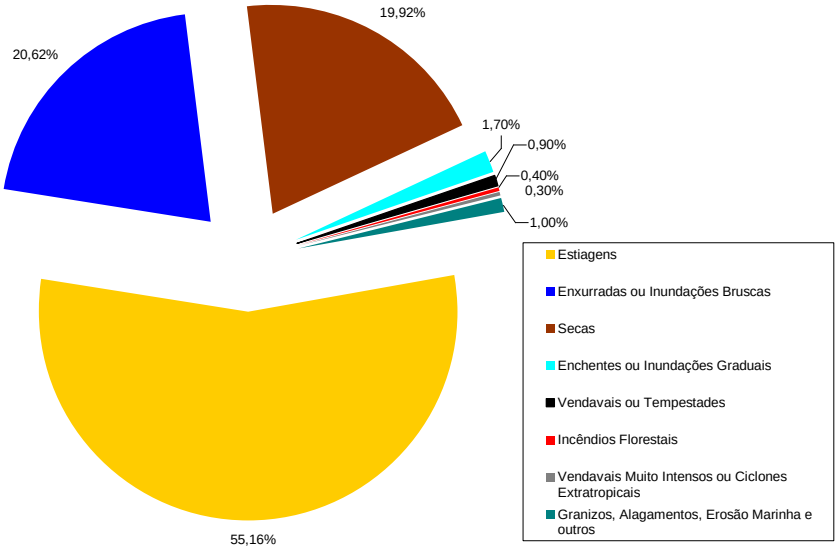
FIGURA 2 AMPLIAÇÃO DO USO DA TERRA ENTRE 1980 E 1995 NA AMAZÔNIA LEGAL.

Entre estas ações de ocupação citam-se o cultivo de grãos, bovinocultura e a exploração florestal (CARDILLE e FOLLEY 2003; ASNER *et al*. 2006; MORTON *et al*. 2006).

O fogo – como uma ferramenta de baixo grau tecnológico, permeia todas estas atividades, seja na abertura da área ou na manutenção das áreas abertas. Além de estar aliado a abertura de novas áreas por propriedades de diversos portes é uma prática comum do na abertura das pequenas roças – queimada/derrubada (NEPSTAD *et al* 1999).

1.2. O FOGO

O fogo é uma reação química e física responsável pela degradação energética da matéria. Essa degradação energética pode ser caracterizada somente como mais um dos acidentes da natureza, entre furacões, enchentes, terremotos, vulcões entre outras. Uma das diferenças entre as outras catástrofes naturais é que o homem pode provocá-lo intencional ou acidentalmente. No Brasil, os incêndios representam somente 0,4% dos acidentes naturais registrados pela Secretaria Nacional da Defesa Civil entre os anos de 1991 a 2001 (IBAMA 2003), Figura 3. Isto não diminui a importância dos incêndios, mas destaca uma omissão do Poder Público no registro desta categoria de desastre natural.



FONTE: EXTRADÍDO E MODIFICADO DE SDEC

FIGURA 3 ACIDENTES NATURAIS REGISTRADOS NO BRASIL ENTRE 1991 A 2001.

A agregação energética ocorre pelo processo de fotossíntese que é resultado do crescimento vegetal realizado na respiração celular pela incorporação gasosa do Carbono e a nutricional com a absorção de micronutrientes do meio, seja terrestre ou aquático (RICKLEFS 1996).

A fotossíntese é um processo dependente da energia solar: ou seja, dependente dos fótons que em reação molecular incorpora o Carbono formando os tecidos celulares vegetais a Celulose e a Hemicelulose. Da energia solar emitida a Terra recebe diretamente nos comprimentos de onda 0,3 a 100 µm sendo o restante filtrado na atmosfera. Como exemplo dos 1395 W/m2 que atinge o topo da atmosfera somente 350 W/m2 atingem a superfície terrestre. E desta parte que chega a superfície terrestre somente de 1 a 2 W/m2 são utilizadas para fotossíntese pelas plantas. A maior parte do continuo desta energia está concentrada nos comprimentos de onda de 0,3 a 0,7 µm. Logo as plantas concentram a absorção de energia solar para fotossíntese exatamente neste espectro. (LILLESAND e KIEFER 1987; RICKLEFS 1996)

Essa energia solar não é constante oscila em ciclos sazonais e diários. Nos ciclos sazonais é resultado do movimento de precessão da Terra pela inclinação em 23,74 a -23,74 graus. Esta inclinação é denominada de solstício de inverno e solstício de verão e a fase que não ocorre a inclinação ocorre o equinócio. Este movimento sazonal altera a quantidade de energia recebida na superfície terrestre e respectivamente o calor e inversamente a umidade (VAREJÃO-SILVA 2006).

Diariamente a alteração do fluxo energético oscila em função do movimento de rotação da terra. A temperatura terrestre é maior no período das 14:00 h aquecendo inicialmente a face Leste e posteriormente a face Oeste do relevo. Esta alteração de distribuição energética é responsável pelos períodos de risco de fogo sazonal e diariamente (WHELAN 1995). Na Amazônia Legal o ciclo sazonal do fogo abrange de junho a outubro concentrando em agosto e setembro e o pico diário entre 12:00 h e 14:00 h.

Para que ocorra a degradação energética provocada pelo fogo precisa-se de três etapas: a pré-ignição, a ignição e a combustão. Estas três etapas são totalmente dependentes do triângulo do fogo para sua manutenção: Oxigênio, Calor e Combustível (BATISTA, 1990). Tem-se aqui como foco o fogo que tem como combustível os recursos florestais.

Produção de energia: (fotossíntese)

$CO_2 + H_20$ + ENERGIA SOLAR CELULOSE + 0_2

Combustão:

Celulose + O_2 + Temperatura $CO_2 + H_20$ + ENERGIA

A pré-ignição é um processo endotérmico no qual o material combustível é aquecido até a temperatura de ignição. Durante esse aquecimento ocorre a desidratação do material combustível e a volatização com a liberação de hidrocarbonetos e gases. A celulose que compreende 41-53% do peso úmido das espécies florestais é desidratada liberando CO, CO_2 e H_2O. Seguida da desidratação ocorre a pirólise com a despolimerização formando gases como o alcatrão e a sólidos como o carvão. O que se queima não é a parte sólida vegetal, mas os gases liberados. Com a liberação dos gases e a ignição dá-se inicio ao processo exotérmico da combustão onde os gases volatizados em reação com o oxigênio são oxidados. A convecção distribui o calor, desidratando e volatizando o combustível no entorno dando continuidade ao fogo (LIODAKIS, BAKIRTZIS, DIMITRAKOPOULOS, 2002).

A temperatura do fogo oscila entre 240 até 1200º C dependendo da disponibilidade de material combustível. No perfil vertical a temperatura é maior na crista do fogo e na superfície a alteração térmica não penetra mais do que 10 cm (WHELAN 1995).

1.3. REGISTRO E MONITORAMENTO DO FOGO NA AMAZÔNIA LEGAL

Na Amazônia Legal registra-se anualmente desde o ano 2000 até 2006 uma média de 117 000 focos de calor sendo que os estados de Mato Grosso e Pará representam 57% desses focos detectados pelo satélite NOAA 12 (INPE 2008). São estes dois estados junto com o estado do Maranhão e Rondônia que englobam o Arco do Desflorestamento na Amazônia Legal. Neste Arco, encontram-se as maiores taxas de conversão de floresta para áreas alteradas e concomitantemente os registros de focos de calor (MORTON *et al*. 2006).

Atualmente os focos das instituições governamentais abrangem duas ações. A primeira foi o uso do monitoramento dos focos de calor como indicador de intensidade de uso ou conversão do solo. A segunda estratégia é a criação de modelos que indiquem o risco de incêndios florestais.

O RisQUE é um modelo baseado no Sistema de Informações Geográfica com o cruzamento de planos de informações extraídos de parâmetros climatológicos e uso do solo. Assim são utilizadas as camadas: água disponível no solo, precipitação, evapotranspiração, precipitação menos evapotranspiração, exploração madeireira, tipo de vegetação e focos de calor já registrados pelos satélites. Ou seja, se tem um modelo baseado em dados pretéritos que simula o risco para o período atual, sendo esta uma das desvantagens do RisQUE. Alterações climáticas cíclicas podem alterar a previsibilidade do RisQUE. A vantagem, porém, está no baixo custo de sua implementação fornecendo subsídios para o manejo antecipado (NEPSTAD *et al* 1999)

No caso da segunda estratégia o SIMEPAR – Sistema de Metereologia do Paraná, apresenta um modelo mais consistente não pela sua confiabilidade, mas, pela sua difusão o que permite gerar alerta para outras instituições com ação local. No caso do modelo do INPE observar um direcionamento mais para o Prevfogo e que direciona esforços para a prevenção de incêndios nas unidades de conservação federal.

CHUVIECO e CONGALTON (1989) propuseram um mapeamento das zonas de risco ao fogo modelando em sistema de informações geográficas as camadas de classes de inflamabilidade das espécies vegetais na área de interesse, elevação, declividade, aspecto, proximidade a áreas de risco (trilhas, estradas, *campings* e casas). GOUMA e CHRONOPOULOU-SERELI (1998) consideram fatores climáticos, ocorrências de focos de calor e fitofisionômicos como parâmetros para estimar o risco de fogo. O resultado é esboçado numa matriz categórica variando de 1 a 5 indicando os níveis de risco de fogo. Estes modelos para serem aplicados na Amazônia carecem de informações, pois ainda não há estudos que indiquem a inflamabilidade das espécies vegetais e a distribuição das estações meteorológicas são esparsas para se trabalhar com dados em tempo real.

Existem modelos que trabalham com a previsão do comportamento do fogo em tempo real indicando às áreas susceptíveis a continuação do incêndio. O modelo pioneiro foi proposto por Richard Rothermel em 1972 utilizando dados da disponibilidade de combustível, clima e relevo (FULLER 1991). Este modelo, porém, tem utilidade somente para o combate do fogo ou para emulações para combate em áreas de alto risco.

Esses modelos tentam prever antecipadamente as áreas sujeitas ao risco de incêndio florestal, faltando, portanto, uma massificação desta informação no meio rural. Pois, o proprietário é o responsável direto pela manutenção dos seus bens. Um fato constatado em

Rondônia é que há uma incidência muita grande de focos de calor marginal a BR 364 principalmente na Bacia Leiteira do Estado. Isto se deve ao uso do fogo como ferramenta para formação dos aceiros entre a propriedade e a rodovia. Esta área entre a propriedade e rodovia é Faixa de Domínio do Departamento Nacional de Infra Estrutura e a ele cabe fazer a manutenção. Mas, os proprietários acabam utilizando esta área para fazer o aceiro com fogo.

1.4. SISTEMAS DE MONITORAMENTO ORBITAIS

Junto com o monitoramento as áreas desflorestadas na Amazônia Legal, foi utilizada uma nova técnica de sensoriamento remoto para o monitoramento dos focos de calor. Este monitoramento baseia-se no uso de sensores remotos, especialmente aqueles satélites com finalidade meteorológica, na faixa do termal entre os comprimentos de onda 3,5 µm e 12 µm. Após a detecção da fonte de calor na superfície terrestre utiliza-se um algoritmo para categorizar ou não como foco de calor (PEREIRA, SETZER, MAURANO 2004).

O primeiro sensor utilizado para o monitoramento da superfície terrestre foi o da série TIROS (Sistema de Observação Televisivo e de Infra-Vermelho). De 1960 a 1965 foram lançados 10 aparelhos ao espaço com curta duração de 76 a 1809 dias no espaço (ROSA 2007; NASA 2009)

Somente a partir da série TIROS NOAA este sensor perdeu o caráter experimental e passou a ser utilizado para previsões meteorológicas. Incorporou ainda os sensores TVOS (Sonda Vertical Operacional TIROS) para avaliar perfis de temperatura vertical e um detector de partículas de prótons para analisar as tempestades solares. O sensor termal e de infravermelho denominado de AVHRR (Radiômetro Avançado de Alta Resolução Radiométrica) possuía inicialmente uma resolução: temporal (duas revisitas diárias), espacial (1,1 km) e radiométrica (4 canais – VIS, Infravermelho Médio e Termal).

Posteriormente foi adicionada mais um canal no Infravermelho longo e outro no Termal. O canal do infravermelho longo deu mais acurácia à detecção dos focos de calor. A série TIROS N ou NOAA ficou sobre a responsabilidade NOAA (Administração Nacional da Atmosfera e Oceano). Atualmente esta no sensor de número 18. A partir da série 14 foi incorporado o sensor de Microondas (AMSU-A e AMSU-B) para medir a temperatura das nuvens e da troposfera. O Monitor Ambiente Espacial (SEM) continuou incorporado a série NOAA com avaliando as tempestades solares, Prótons e Ultravioleta e emissões eletromagnéticas extras terrenas (NASA 2009)

Outra série de sensores utilizada para monitorar a superfície terrestre é o GOES (Satélite Ambiental de Operação Geoestacionário). Aqui reside a grande diferença entre o GOES e o TIROS/NOAA. Enquanto o NOAA possui órbita Polar, ou seja, percorre a órbita Pólo a Pólo e monitora toda a superfície terrestre o GOES mantém posição fixa e monitora o continente americano. Atualmente o GOES está na série 12 e incorpora sensores IMAGIZER e a SOUNDER. O IMAGIZER possui resolução espectral de 5 canais (um canal no Visível, dois canais no Infravermelho Médio e dois no Termal) com resolução espacial de 4 km nos canais Infravermelho e 1 km no Visível e resolução temporal de 41 segundos. O sensor SOUNDER possui 19 canais (7 no infravermelho distante, 5 no infravermelho longo, 6 no infravermelho médio) e resolução espacial de 8 km e 50 km. Ainda está acoplado o sensor SEM (Monitor Ambiente Espacial) com detectores para prótons solares, partículas, alfa, elétrons solares, raios-x e campos magnéticos (NASA 2009)

A série MODIS (Espectro radiômetro Imageador de Resolução Moderada) foi um projeto resultado da avaliação do grupo EOS – Sistema de Observação Terrestre, composto pela NASA e diretamente pelas Agências Espaciais do Canadá e Japão. O sensor MODIS é composto por duas plataformas: Terra e Aqua. A Plataforma Terra incorpora os sensores CERES (Sistema de Energia Radiante Terrestre e Nuvens), MISR (Espectro radiômetro Imageador Multiângulo), ASTER (Radiômetro Espacial Avançado de Emissão Termal e Refletida), MOPITT (Medida da Poluição na Troposfera). A plataforma Aqua é uma constelação composta pelos satélites Aqua A-TRAIN lançado em 2002, o Aura lançado em 2004 e o PARASOL lançado em 2004, Cloudsat e o CALIPSO lançados em 2006 e o último satélite é o OCO lançado em 2008. Ela é direcionada para avaliações do ciclo da água, aerossóis, cobertura vegetal, fitoplâncton, temperatura da água, terra e ar; matéria orgânica dissolvida nos oceanos e energia radiativa e o gás carbônico. Os seis instrumentos que compõe o Aqua são AIRS (Sonda Atmosférica Infravermelho), AMSU-A (Unidade da Sonda Avançada de Microondas – A), HSB (Sonda de Umidade do Brasil), AMSR-E (Radiômetro de Varredura Avançado para Microondas do Sistema de Observação Terrestre), MODIS (Espectro Radiômetro Imageador de Resolução Moderada) e o CERES (Sistema de Energia Radiante Terrestre e Nuvens). O sensor MODIS é o único direcionado a identificação de queimadas. Ele possui 36 bandas no Visível, Infravermelho: Próximo, Curto, Médio, Longo e Distante. Os dados do Modis podem ser obtidos por bandas ou distribuídos em 45 produtos. Existem dois produtos relacionados às queimadas. O primeiro é o MODIS 14 que identifica as anomalias termais sendo umas destas categorias os focos de calor. O segundo produto é o

MODIS 45 que faz estimativa de área queimada, mas está em caráter experimental desde o ano de 2001 (SOARES, BATISTA, SHIMABAKURO 2007).

Foram incorporados os dados do Satélite METEOSAT desde o segundo semestre de 2006 para estimar os focos de calor na América do Sul. O METEOSAT é um satélite da Comunidade Européia e possui órbita geoestacionária. O METEOSAT, utilizado no Brasil é o da série METEOSAT 8 ou o MSG (METEOSAT SEGUNDA GERAÇÃO) e opera com 3 bandas: Visível, Infravermelho Médio e Infravermelho Longo possui resolução espacial de 8 a 50 km e resolução temporal de 15 minutos (ROSA 2007, ESA 2009).

1.5. AS POLÍTICAS PÚBLICAS E O FOGO

Os marcos legais que regulamentam o uso do fogo foram estipulados desde 1965 através da lei 4771/1965. Nesta lei, porém, traçava linhas gerais para evitar métodos que causassem incêndios e dava ao órgão público responsável o direito de liberar o uso do fogo.

Em 1998 através do Decreto 2661 de 8 de Julho de 1998 regulamenta o uso do fogo como forma de manejo em áreas privadas e públicas através da queima controlada. O Órgão Ambiental determina as definições legais e as condicionantes para a liberação do uso fogo. A Portaria 94-N de 9 de Julho 1998 vem regulamentar a autorização do uso do fogo como instrumento de manejo para áreas privadas.

Em Fevereiro de 1999 cria-se uma Força Tarefa para Combate aos Incêndios Florestais na Amazônia Legal instituindo também o Programa de Prevenção e Controle de Queimadas e Incêndios Florestais na Amazônia Legal, resultado da demanda provocada pelo incêndio florestal de Roraima que ocorreu em 1998.

Os dados fornecidos pelos sensores auxiliaram na elaboração das Políticas Públicas para controle das queimadas e incêndios florestais. Estas voltadas a estipulação do calendário de queima autorizada através da Organização Estadual de Meio Ambiente e/ou IBAMA. Se pegarmos o estado de Mato Grosso como referência, o período que ocorre incêndios é aquele no período restritivo. Neste período são registrados em torno de 80% das queimadas (INPE 2008). Ou seja, temos um completo estado de ingovernabilidade.

Através de outras instâncias colegiadas foi discutido o controle do uso do fogo devido à poluição atmosférica com influência direta sobre os aeroportos e saúde humana.

O Programa VigiAR do Ministério da Saúde que é um grupo interinstitucional envolvendo o governo federal, estadual e municipal tenta estipular diretrizes para o controle do fogo, mas os resultados ainda são insignificantes. Isto se deve a poluição do ar pela liberação de particulados que causam danos ao trato respiratório, pois enquanto o permitido é 15 a 20 µg de particulados por m^3 durantes em áreas queimadas já foi registrado 500 $\mu g/m^3$ isto gerou um custo médio estimado entre 1996 a 1999 de US$ 7,4 mi (MENDONÇA *et al*, 2004). Ao agregar os custos dos incêndios florestais as propriedades rurais, a saúde, emissão de carbono e perda da floresta estimou-se que entre os anos de 1996 a 1999 o custo foi entre US$ 90 mi a 5,0 bi em torno de 2 a 9% do PIB da Amazônia Legal (MENDONÇA *et al*, 2004). Outros custos que devem ser mensurados é o fechamento dos aeroportos, interrupção de energia elétrica, fechamento de áreas de lazer, acidentes rodoviários e mortes de pessoas.

As empresas de extensão rural têm divulgado o uso da mucuna-preta como ferramenta de manejo para supressão de pragas além da incorporação de nitrogênio no solo. Contudo, deve-se estar atento a dois fatores o primeiro é a dosagem e a segunda o coeficiente de dispersão. Pois, teríamos a substituição de um evento efêmero que é o fogo. Diferente da mucuna-preta que se plantada maciçamente e em grandes áreas tornar-se-á uma praga como outras soluções de controle biológico.

Outra ferramenta institucional é o Programa de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais no Arco do Desflorestamento na Amazônia Legal - PROARCO que surge em 1998 como uma ação de integração interinstitucional para monitoramento, fiscalização, controle e combate dos incêndios florestais no Arco do Desflorestamento da Amazônia Legal. Este programa contava com financiamento do Banco Mundial. A única inovação deste programa foi a formação de brigadas de incêndios comunitárias. As outras atividades continuaram no mesmo estado – O INPE continuou monitorando, o IBAMA fiscalizando e combatendo incêndio nas unidades de conservação federal e as áreas particulares queimando da mesma forma.

O Sistema de Licenciamento Ambiental da Propriedade Rural – SLAPR, foi proposto como forma para licenciamento da propriedade rural criado entre a Secretaria Estadual de Meio Ambiente do Mato Grosso e uma empresa privada em 1998. A propriedade rural para obter o licenciamento deveria entregar averbado em cartório a delimitação da Reserva Legal além das Áreas de Preservação Permanente tudo isto delimitado espacialmente numa imagem de satélite. Estas informações são incorporadas ao sistema de informação do órgão licenciador que tem como monitorar ou averiguar danos ocorridos nas áreas não produtivas da

propriedade. Este modelo foi expandido para os outros oito estados da Amazônia Legal, contudo a implantação deste sistema ainda é precário.

A vantagem deste sistema – SLAPR é a correção do maior problema da Amazônia Legal que é a questão fundiária. Assim quando se determina os limites da propriedade, mesmo que em caráter precário do domínio – como exemplo a posse, e as respectivas zonas de manejo ou uso dá ao Estado a possibilidade de monitoramento da propriedade ou pelo menos atribuição de responsabilidade do dano ambiental.

Em 2002, o IBAMA consolida uma avaliação sobre a gestão ambiental no BRASIL denominada de GEO Brasil (IBAMA 2003). Este relatório tem como diretriz indicar as pressões ambientais as resposta do estado a estas pressões e as políticas públicas implantadas. Porém para o uso do fogo não foi dirimido nenhuma ação direta. Manteve-se, porém, a linha indicativa que é o monitoramento dos focos de calor.

O decreto Nº 3179 de 21 de setembro de 1999 regulamenta a Lei Nº 9605 de 1998 e estipula o valor da multa por área queimada em relação de R$ 1.000,00 em áreas agropastoris e de R$ 1.500,00 em áreas florestais. Assim torna-se primordial se determinar o tipo de ambiente para se determinar o dano ambiental. Podendo ainda ser agravado pela poluição atmosférica.

Dessa forma, observa-se que os modelos para substituição do uso do fogo ainda são resultados de experiências locais, os marcos legais não são seguidos, há um déficit de registro entre os acidentes provocados pelo fogo na Secretaria de Defesa Civil Nacional – pois se o fogo não é intencional ou se foge do controle é um acidente e ainda após mais de 20 anos de monitoramento de focos de calor ainda não há medidas que apresentaram resultados óbvios na redução dos incêndios florestais e das queimadas como ferramenta de manejo na agropecuária.

1.6. OS FOCOS DE CALOR NA AMAZÔNIA LEGAL

O satélite que manteve a maior regularidade de observação de focos de calor na Amazônia Legal é o NOAA 12, Tabela 1. No período de 1998 a 2006 somente pelo NOAA 12 foi registrada uma média de 109 819 focos por ano. Deve-se considerar que a passagem do NOAA 12 ocorria em torno das 20:00 h o que não é compatível com o horário mais crítico de risco para os incêndios, em torno das 14:00 h. O MODIS-01D que tem passagem em torno das 13:00 h chegou a registrar duas vezes mais registros que o NOAA 12. Somente em 2004 o

MODIS-01D registrou 40% dos focos entre os oito satélites em operação naquele ano em uso pelo INPE.

A incidência dos focos é maior no período da estação da seca que ocorre entre os meses de junho a outubro.

TABELA 1. FOCOS DE CALOR REGISTRADOS PELA CONSTELAÇÃO DE SATÉLITES METEREOLÓGICOS NO PERÍODO DE 1998 A 2006

		1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
1	AQUA					26615	63074	95092	90238	65716	106122
2	GOES-08					22600	1210				
3	GOES-10				5						115809
4	GOES-12						23188	65368	97203	69918	5258
5	METEOSAT-02										15526
6	MMODIS-01D							351660	195969	87004	140957
7	NOAA-12	75359	88061	66119	81590	136886	131355	165286	160441	83278	16759
8	NOAA-12D						394	3782	4451	1953	459
9	NOAA-14								13534	8631	246
10	NOAA-15								25098	22018	114645
11	NOAA-15D								1262		
12	NOAA-16						102452	133770	4732		
13	NOAA-16N						199	1142	635	720	1723
14	NOAA-17								8333	4109	10209
15	NOAA-18								1843	1396	4242
16	NOAA-18D								3226	1988	4242
17	TERRA					10473	28298	47104	39411	21176	54131
	Total Satélites	1	1	1	2	4	8	8	14	12	14
	Total Focos	75359	88061	66119	81595	196574	350170	863204	646376	367907	590328

Fonte: INPE - SIG Queimadas (2008)

O INPE monitora as queimadas desde 1992 usando para esta finalidade satélites meteorológicos do E.U.A. e da Comunidade Européia. Até o ano de 2002 era utilizado somente um sensor, a partir do ano de 2003 foram incorporados outros sensores e atualmente conta-se com 14 sensores orbitais. Mas além da quantidade de sensores o que é mais importante é a ampliação do horário coberto. Até 2002 o horário de passagem oscilava entre às 19:00 h às 23:00 h. Atualmente consta-se com cobertura diurna e noturna, Tabela 2.

TABELA 2. HORÁRIO DE COBERTURA DO MONITORAMENTO DOS FOCOS DE CALOR PELOS SATÉLITES METEOROLÓGICOS DE 1998 A 2006.

	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
AQUA					16:40	16:29	16:39	16:33	16:23	16:24
GOES-08					18:38	18:16				
GOES-10				13:45						16:57
GOES-12						19:05	18:16	16:06	17:23	17:25
METEOSAT-02										16:08
MMODIS-01D							13:45	13:10	13:40	13:03
NOAA-12	21:24	21:00	21:39	20:06	20:30	19:42	19:47	20:04	20:23	20:30
NOAA-12D						07:44	07:52	07:35	07:41	08:41
NOAA-14								04:21	09:12	09:27
NOAA-15								21:32	20:10	20:48
NOAA-15D								09:16	08:47	07:38
NOAA-16						17:19	17:06	17:16		
NOAA-16N						04:25	04:46	06:30		
NOAA-17								13:08	15:22	08:18
NOAA-18								17:36	16:46	16:47
NOAA-18D								04:31	04:23	04:08
TERRA					10:55	10:22	11:05	10:30	10:15	11:32

Fonte: INPE - SIG Queimadas (2008)

Ao avaliar a re-incidência dos focos constata-se que os anos de 2004 e 2005 apresentaram o registro de focos de calor dentro da mesma área de anos anteriores, Tabela 3. A análise através de Componentes Principais demonstrou que divergência maior foi entre os anos de 2006 e 2001 com índice de 0,89. Ou seja, os incêndios ocorreram em áreas diferentes entre estes dois anos.

TABELA 3. CORRELAÇÃO OU REINCIDÊNCIA DOS FOCOS DE CALOR EM CÉLULAS DE 8,4 KM NA AMAZÔNIA LEGAL ENTRE 1998 A 2006.

Ano	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
1998	1,000	0,438	**0,512**	0,453	**0,512**	0,351	0,350	0,309	0,268
1999	0,438	1,000	0,477	0,498	0,477	0,417	0,400	0,351	0,295
2000	**0,512**	0,477	1,000	**0,632**	1,000	**0,589**	**0,604**	**0,508**	0,473
2001	0,453	0,498	**0,632**	1,000	**0,632**	**0,506**	0,458	0,414	0,347
2002	**0,512**	0,477	1,000	**0,632**	1,000	**0,589**	**0,604**	**0,508**	0,473
2003	0,351	0,417	**0,589**	**0,506**	**0,589**	1,000	**0,694**	**0,625**	**0,527**
2004	0,350	0,400	**0,604**	0,458	**0,604**	**0,694**	1,000	**0,635**	**0,588**
2005	0,309	0,351	**0,508**	0,414	**0,508**	**0,625**	**0,635**	1,000	**0,632**
2006	0,268	0,295	0,473	0,347	0,473	**0,527**	**0,588**	**0,632**	1,000

A distribuição dos focos de calor em relação aos eixos viários observa-se que entre 17% dos focos ocorrem até 5 km das rodovias, em torno de 60% ocorre até 25 km. Isto indica que os focos de calor são mais comuns nas áreas de uso consolidado. Ao agrupar os focos em classes de 10 quilômetros numa faixa de 100 quilômetros no entorno das rodovias, para a Amazônia Legal, observa-se que há uma correlação negativa, a medida que aumenta a distância do eixo da rodovia diminui os focos de calor, Figura 4. Essa correlação foi significativa para os dados analisados entre os anos de 1998 a 2007, a significância foi sempre inferior a p=0,0008.

Cabe destacar que em Rondônia foi observado a formação de aceiros com o uso do fogo nas áreas marginais as rodovias, mas isto explicaria no máximo 17% dos focos de calor. Ao destacar a distância em utilizada como faixa de colonização na década de 70 e 80 que era 100 km em torno das rodovias pode-se observar que aí se concentra 95% dos focos de calor na Amazônia Legal.

Destaca-se assim que o monitoramento dos focos de calor permite identificar relações entre as atividades agropecuárias e de logística. Porém, não permitem a quantificação da área afetada diretamente pela queimada ou incêndio florestal. Dessa forma, o monitoramento de áreas queimadas permitiria identificar com maior precisão as áreas afetadas e as respectivas variáveis ecológicas, econômicas e sociais relacionados a elas.

Assim se tem como objetivo o estabelecimento de uma rotina para processamento e interpretação das imagens de satélite Landsat 5 TM para qualificar e quantificar o uso do fogo.

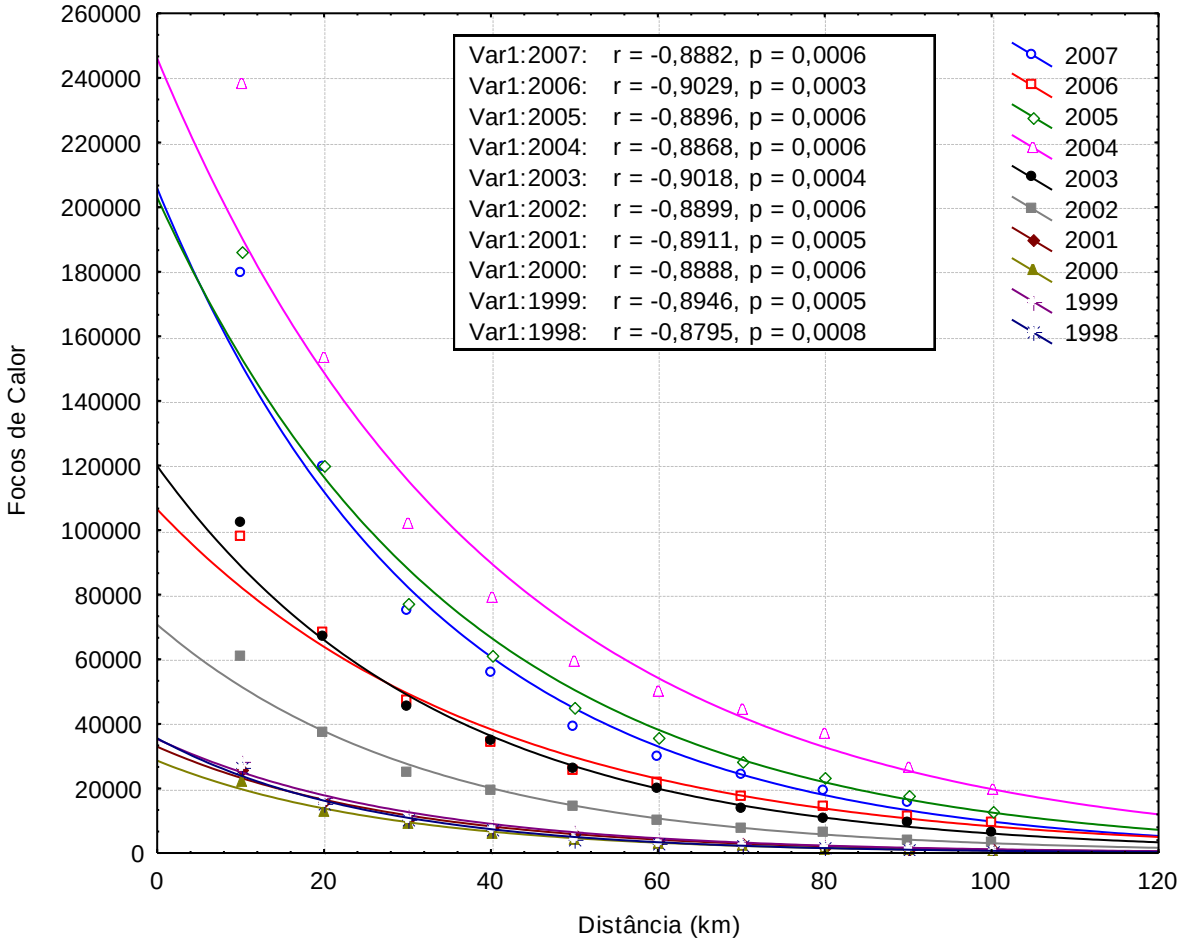


FIGURA 4. RELAÇÃO ENTRE A DISTÂNCIA DO EIXO DA RODOVIA E O REGISTRO DE FOCOS DE CALOR – TODOS OS SATÉLITES, NA AMAZÔNIA LEGAL ENTRE 1998 E 2007.

2. PROCEDIMENTO PARA MONITORAMENTO ORBITAL

2.1. SENSORIAMENTO REMOTO

Sensoriamento remoto é uma técnica que sempre foi utilizada pelo homem, apesar de que o domínio da tecnologia foi alcançado somente no século 20. Pois, o olho humano foi o primeiro transceptor utilizado para interpretação da interação da energia eletromagnética com os alvos terrestres.

O princípio da aquisição, armazenamento, processamento e interpretação da interação entre a energia eletromagnética com os alvos terrestres é a síntese do sensoriamento remoto.

A energia eletromagnética envolve comprimentos de onda dos raios gama até as ondas de rádio. A principal fonte de energia para a Terra é o Sol. A energia do sol que chega a superfície terrestre está entre os canais do visível e infravermelho (LILLESAND, KIEFFER 1987). É notório que toda a cadeia trófica primária, ou região fotossinteticamente ativa, está adaptada aos comprimentos de onda que atingem a superfície terrestre entre o visível e infravermelho próximo (RICKLEFS 1996).

A interação é especifica aos comprimentos de onda devido ao *quantum* de energia recebida pelo alvo. A produtividade primária aproveita somente um milésimo da energia emitida pelo sol, do balanço energético entre o irradiado e o recebido na superfície solar, denominado de constante solar oscila em torno de 1350 w/m2, contudo as plantas aproveitam em torno de 1 a 2 W/m2 (RICKLEFS 1996).

A energia emitida pelo sol é denominada de irradiação, a energia que é recebida pelos satélites ou sensores aerotransportados é denominada de radiância. A razão entre a irradiância e a radiância é conhecida como reflectância aparente. A energia emitida diretamente por outra fonte energética é denominada de emitância. A interação entre a energia terrestre e os alvos pode ser fracionada em três categorias: reflectância, absorção e tramitância. A reflectância é a quantidade de energia que o alvo recebe e reflete diretamente para a atmosfera. A porção de energia que é absorvida e transformada em trabalho é denominada de absorção. Já a tramitância é a parte da energia que não interage diretamente com o alvo, ele é transparente a energia e a transmite completamente (NOVO 1992).

Essas frações de energia estão relacionadas com o *quantum* de energia que é utilizada ou não pelo alvo para produção de energia. Essa interação nos comprimentos de onda utilizada pelo sensoriamento remoto pode ser dividida em energia vibracional e translacional. A energia vibracional interage com os átomos nos comprimentos de energia do visível e infravermelho próximo provocando a perda ou ganho de elétrons. A energia translacional interage nos comprimentos de onda do visível ao micro-ondas (MENESES 2001)

O grande avanço no sensoriamento remoto deveu-se a possibilidade de decompor e isolar essa energia em canais. Os sensores remotos podem separar esta energia e isto fornece os dados espectrais para a análise dos alvos terrestres.

Dois processos foram revolucionários: o primeiro foi a aquisição e o armazenamento das imagens (analógicas ou digital) o segundo foi o domínio do lançamento das espaçonaves e/ou foguetes. Num primeiro momento a fotografia aerotransportada foi obtida com balões,

pombos e aviões. Na era digital as imagens não são limitadas pela capacidade de armazenamento dos sensores, mas sim pela capacidade de transmissão e recepção entre os satélites as bases de aquisição na superfície terrestre.

Os dados podem ser caracterizados pelas dimensões espaciais, radiométrica, frequência e domínio do tempo. A resolução espacial determina a dimensão mínima da amostra. A resolução espacial é determinada pelo ângulo sólido e o intervalo entre os pixels. Como não existem superfícies naturais com reflectância isotrópica, ou seja, não segue a premissa da distribuição Lambertiana, as imagens dos sensores ópticos são obtidas em ângulos obtusos denominados de Nadir. O ângulo sólido é a razão entre a distância do sensor, o seu campo de visada e o ângulo do coseno. A determinação da energia dentro dessa área é estimada em w/m^2. E essa área é estimada na forma de uma esfera, ou seja, a visada entre o sensor e o alvo terrestre forma uma esfera e esse ângulo denominado de esferoradiano. Então a energia é estimada na área de um cone, contudo o dado é distribuído em área quadrada e sempre com sobreposição lateral. Esta sobreposição lateral, ou *sidelap*, permite corrigir distorções ocasionadas pelo deslocamento do espelho ou da matriz de sensores. Têm-se assim a energia recebida pelos sensores são medidas quantizada em número digitais proporcional ao número de bits, no caso do Landsat TM com 8 bits o que da um intervalo de 0 a 255. Usualmente é necessário fazer a conversão desses números digitais – ND em grandeza física seja radiância ou reflectância e tendo como dimensão da energia (W/(m2*sr*μm). Ou seja, a quantidade de energia em Watts pela área em metros quadrados do cone num determinado comprimento de onda. Essa informação mínima na imagem seja em número digital ou numa grandeza física é denominada de *pixel – pictures x elements*. Quanto menor esse *pixel* melhor a resolução espacial, contudo a razão é inversa a quantidade de energia refletida pelo pixel, dessa forma, imagens de alta resolução espacial usualmente possuem baixa qualidade radiométrica (NOVO 1992).

A resolução radiométrica é a integração da energia dentro do *pixel* absorvida ou refletida para o sensor. Essa integração ou quantização é conversão da energia analógica – (W/(m2*sr*μm), em níveis de cinza. Ou seja, a quantidade de energia é escalonada de 0 a 255 bits numa imagem de 8 bits. A informação binária é divida em 2 possibilidade 0 ou 1 e o número de bits amplia esse arranjo: 2 bits, 3 bits, 8 bits, 11 bits etc. Então a base é 2 e o número de bits é a potência indicando assim o número de arranjos possíveis, $2^8 = 255$, $2^{10} = 1024$ e etc (ROSA 2007).

A frequência vai determinar a quantidade de energia do comprimento de onda, a regra geral é quanto maior comprimento de onda menor a energia e quanto menor o comprimento de onda maior a quantidade de energia e maior a freqüência. Na escala do espectro da energia eletromagnética os menores comprimentos de onda: ultravioleta, raios gama possuem a maior quantidade de energia. Já os maiores comprimentos de onda no infravermelho, termal, ondas de rádio possuem menos energia. A energia de alta-frequência recebe mais interferência da atmosfera, por isso é comum observar maior interferência de nuvens nos comprimentos de ondas do azul, verde e vermelho e, menor interferência no infravermelho médio e curto. Os aerossóis interferem mais nos comprimentos de onda de baixa-frequência a exemplo do CO_2 que absorve parte da energia do infravermelho curto (LILLESAND e KIEFFER 1987).

As imagens podem ser transformadas do domínio da freqüência para o domínio do tempo, isto permite análises multi-temporais. A resolução temporal é definida em razão do movimento do satélite em relação a terra: estes podem ser divididos em sensores estacionários, quase polar heliosíncrono e quase polar. Os sensores estacionários e os polares ficam a grandes altitudes. Enquanto os estacionários mantêm posição fixa e permitem observação intervalos na escala de minutos ou segundos, os polares passam duas vezes sobre a mesma área na superfície terrestre. Os satélites heliosíncronos oscilam de passagens diárias até 26 dias. Os ciclos do satélite e do Sol são similares, isto permite que as condições de observação sazonais sejam as mesmas (NOVO 1992).

Desde o princípio do sensoriamento remoto, utilizava-se do sol como a principal fonte de energia, caracterizando os sensores ópticos como sensores passivos, dependentes da energia solar. No século XX foi possível criar sensores ativos que produzem a sua energia para iluminar os alvos e produzindo informação remota dessa interação. Uma das primeiras fontes de energia ativa foram os radares que emitem energia no micro-ondas e recebem a energia numa antena. Como necessitaria de uma grande antena para receber os sinais do micro-ondas a antena emula uma dimensão maior fazendo a aquisição sinteticamente. Os radares têm uma peculiaridade que é a visada lateral ou obliqua. Isto deve-se a necessidade de emissão da energia em distância e a leitura ocorre no azimute. Desde a segunda guerra os sensores ativos estavam em uso para obter imagens a noite, sobre nuvens, fumaça ou chuva (CAMPBELL 1987).

Depois da aquisição da imagem o próximo passo é o armazenamento, pré-processamento da imagem e interpretação ou análise. O pré-processamento pode ser categorizado em registro, filtro, orto-retificação e mosaico. Durante a aquisição da imagem

ela recebe um sistema de coordenadas para distribuir os dados espacialmente, este processo é denominado de geo-codificação. Esta distribuição espacial dos dados está deslocada em relação a superfície terrestre e usualmente ocorre distorções por defeitos no espelho, relevo entre outros. O registro ajusta os dados do satélite ao sistema de coordenadas da superfície terrestre e tomando para isto referências planimétricas – elipsóide e referência altimétrica – geóide. Este conjunto de referência altimétrica e planimétrica é denominado Datum. Este passo é essencial para se definir a escala de trabalho, pois o tamanho do pixel e o erro associado a sua distribuição no espaço compromete a precisão das medidas que se quer obter da superfície terrestre (CAMPBELL 1987; NOVO 1992).

Deve-se definir anteriormente qual o objetivo do trabalho: medir distância, estimar área, sobreposição de dados espaciais. O detalhamento desta informação determinará o sistema de projeção e coordenadas a ser utilizado: pois se pretende manter a distância deve-se usar projeções eqüidistantes; ao optar pela área deve-se escolher um sistema de projeção equivalente, ou se pretende manter a forma deve-se escolher sistema de projeção conforme.

Para ajustar os dados ainda precisa ser realizada a re-amostragem: as técnicas mais usuais de re-amostragem são vizinho mais próximo, bilinear e convolução cúbica. A técnica de re-amostragem escolhe os pixels vizinhos para estimar a real posição de um determinado pixel, mas quando realizada esta estimativa pode-se alterar o nível de informação. A técnica do vizinho mais próximo mantém a integridade da informação radiométrica, mas, pode causar degradação na correção geométrica. A estimativa bilinear altera o nível de cinza da imagem e realiza o ajuste geométrico. Já a convolução cúbica deve ser preferida quando o objetivo do trabalho é a precisão espacial, pois ela produz o melhor ajusta, mas causa degradação radiométrica (NOVO 1992).

Todas estas técnicas permitem a alteração do tamanho do pixel. Outro processo subseqüente é a escolha do modelo matemático para transformação entre a imagem registrada e o dado de referência. O modelo polinomial é o mais usual e pode-se usar quantos polinômios for necessário para fazer o ajuste da imagem, porém quanto maior a quantidade de polinômios utilizados maior a distorção provocada na imagem. Cada polinômio faz o ajuste num eixo e quando se ajusta um eixo pode-se distorcer a informação em outro eixo (NOVO 1992). Deve-se dar preferência a ajustes somente um eixo.

Todos estes processos ajustam a imagem em duas dimensões, deve-se lembrar que a imagem é adquirida do espaço e a elevação e, o azimute do sensor podem provocar distorções

devido as irregularidades da superfície. A imagem possui três dimensões (x, y, z). O ajuste das distorções planimétricas e altimétricas é denominado de orto-retificação.

A próxima etapa é a correção atmosférica que permite o ajuste das degradações provocadas pelas interferências da atmosfera nas altas e baixas frequências. Além disso, a correção atmosférica permite transformar a imagem numa grandeza física ao relacionar a quantidade de energia irradiada e refletida da superfície ao sensor (PONZONI *et al* 2007). Após a correção atmosférica denomina-se que imagem possui reflectância aparente, pois é como se medisse a energia sobre a atmosfera ao corrigir todas as distorções e não diretamente da superfície terrestre.

Assim, pode-se realçar a imagem para se destacar os alvos de interesse. Para isto pode-se utilizar filtros de baixa freqüência ou alta freqüência. Os filtros de baixa-frequência permitem que só a energia de baixa freqüência passe, isto retira da imagem as oscilações abruptas ocasionadas por bordas e dá a imagem uma aparência mais esmaecida e homogênea. Contudo, se pretende destacar as bordas entre as feições de interesse deve-se utilizar um filtro de alta freqüência que realça as altas freqüências dando uma aparência mais salpicada na imagem. Os filtros de alta freqüência são ideais para se retirar névoas da imagem (MATHER 1999).

Quando todos estes processos são aplicados é possível utilizar a imagem para distinguir os dados sem a necessidade da intervenção da acuidade visual. Neste estágio a energia refletida é resultado da interação normalizada da energia eletromagnética com os alvos terrestres. Após toda a etapa de pré-processamento passa-se então para a análise da imagem. Existem três níveis de abordagem para as imagens de satélite: pixel, sub-pixel e objeto. Os dados podem ser categorizados a intervenção direta ou indireta do usuário distinguindo-se assim em classificação supervisionada ou não-supervisionada (MATHER 1999; CAMPBELL 1987).

O acesso aos dados considerando a energia integrada no *pixel* é extraída com o uso de técnicas estatísticas univariadas e multi-variadas. Entre estas técnicas destaca-se a média, desvio padrão, distância Euclidiana, distância de Manhalanobis, correlação, variância, matriz de covariância, regressão múltipla e Principal Componentes (MATHER 1999). Trabalhando ainda com o pixel já existem modelos não-lineares para a distinção de feições numa imagem. Entre estes modelos destaca-se o Suporte Vector Machine – Máquina de Suporte a Vetores.

Análise do sub-pixel decompõe a energia integrada do *pixel* detalhando sua composição ou frações. Os dados podem ser separados ferramentas de estimativa – (modelos matemáticos) ou atribuição de valor – pesos (Lógica Fuzzy). O modelo de mistura é a ferramenta mais usual para procedimentos com análise do sub-pixel trabalhando como modelos lineares ou não-lineares (MATHER 1999). O modelo linear é descrito pela formula 1:

$$\mathbf{ri = \Sigma(aij*xj) + ei} \qquad \textbf{Fórmula 1.}$$

ri = reflectância spectral media da i-*n* banda spectral; **aij** = reflectância spectral do j-*n* componente no pixel na banda i-*n*; **xj** = valor proporcional do componente j-*n* no *pixel*; **ei** = erro estimado para i-*n* na banda espectral; **j** = número de componentes sobre análise; **i** = número de bandas espectrais analisadas.

O número de componentes deve ser sempre maior que o número de bandas espectrais (MATHER 1999). Utilizam-se três componentes: floresta, solo e água – serão geradas três imagens com a fração da percentagem de cada componente no *pixel*. Independente do número de componentes é gerada uma banda adicional para se determinar o erro da estimativa.

O modelo de mistura é utilizado pelo INPE nos programas de monitoramento florestal PRODES, DETER e no DEGRADE. Com esta técnica apesar de se determinar o tipo de uso do solo é possível estimar a percentagem da degradação da floresta (SHIMABAKURO *et al* 2007). Em áreas de Savana e Floresta Decídua esta técnica possui limitações devido a exposição sazonal do solo que não diferenciável do desflorestamento. Para contornar este problema poder-se-ia transformar a imagem do domínio da freqüência para o domínio do tempo. Contudo, isto ainda é inviável devido à demanda de processamento para monitorar grandes áreas.

Abordagem da classificação orientada a objeto usa a teoria dos conjuntos para agrupar e discriminar as feições na imagem (GONZALEZ e WOODS 2008). Deve-se deixar claro que existe uma grande diferença entre a segmentação orientada ao *pixel* da segmentação orientada ao objeto. Como exemplo a segmentação utilizando o *pixel* pode-se utilizar de algoritmos tais como Fremman Chain Code que faz a busca de *pixels* similares para se delimitar uma feição, ou seja trabalha-se com o conceito de borda.

Para realizar o agrupamento utiliza-se parâmetros estatísticos e aninha-se os *pixels* similares como técnicas tais como crescimento de bacia posteriormente são gerados descritores para estes agrupamentos distinguidos em parâmetros de textura, objeto e feições espaciais. Estes descritores foram agrupados por Haralick e com eles é possível delimitar as feições de interesse.

Atualmente existe uma miscelânea de procedimentos que usa várias técnicas para diferencias as categorias de dados dentro de uma imagem. A classificação neural ilustra bem o uso desta miríade de técnicas, quando parâmetros estatísticos, lógica e pesos são utilizadas para classificar os alvos.

Existem alguns avanços no uso da geoestatística para a classificação orientada ainda as imagens de radar. A geoestatística utiliza parâmetros de correlação dentro de uma amostra e células vizinhas, com premissa do efeito direcional, distância entre os dados. Com estes dados são modelados o semi-variograma em função do padrão de distribuição dos dados: Gaussiano, Linear, Esférico etc. Faz-se então o ajuste entre a distância entre os pontos de referência, o ponto inicial de análise e o limite para o modelo. Posteriormente este ajuste é aplicado aos dados reais para se realizar a estimava dos dados estimados.

2.2. MÉTODO

Foram utilizadas imagens Landsat 5 TM dos anos de 2007 e 2008 para a análise. As imagens foram registradas, calibradas, realizada correção atmosférica e posteriormente analisadas.

Teve-se como referência de áreas queimadas observações de campo realizadas e validadas em Porto Velho - RO, Chapada dos Guimarães - MT, Cerejeiras - RO. Contudo, as análises foram realizadas somente para a Chapada dos Guimarães e Cuiabá/MT.

Posteriormente, as imagens foram classificadas utilizando amostras coletadas na imagem distinguindo áreas alteradas pelo fogo das outras feições. Foi utilizada a Máquina de Suporte a Vetores para a classificação da imagem. Nas imagens classificadas foram geradas amostras aleatórias, processo automático, para validar a identificação das queimadas. Para validar os dados serão utilizadas as verdades de campo citadas acima e confrontadas na Matriz de Confusão para se validar os erros de omissão e comissão. O modelo do trabalho está esboçado na Figura 5.

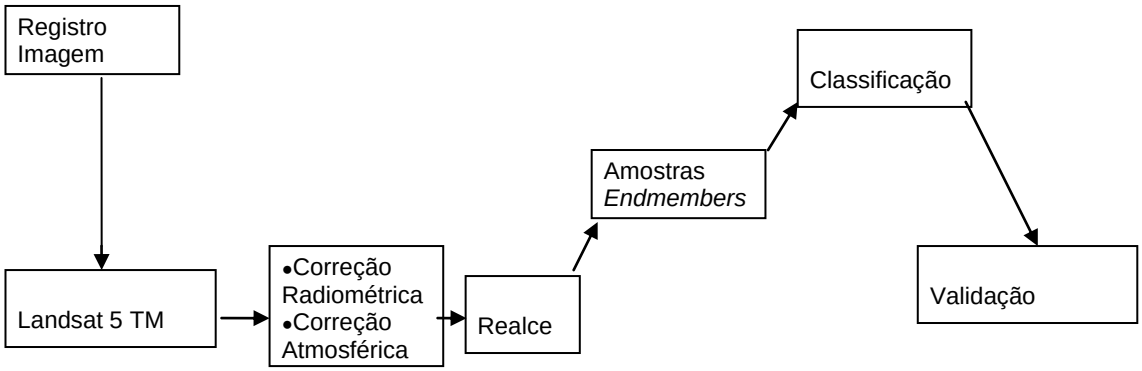


FIGURA 5. DIAGRAMA DOS PROCEDIMENTOS PARA IDENTIFICAÇÃO DAS ÁREAS QUEIMADAS NAS IMAGENS DE SATÉLITE LANDSAT 5 TM.

3. RESULTADOS

3.1. A IDENTIFICAÇÃO DO FOGO EM IMAGEM DE SATÉLITE LANDSAT 5 TM

Foi realizada a calibração da imagem convertendo a imagem de números digitais – ND, para radiância aparente. Com esta imagem foi realizada a correção atmosférica através da rotina FLAASH do Envi resultando na imagem de reflectância aparente. Isto se torna necessário pois trabalha-se com um valor físico adimensional. Assim consegue equilibrar a quantidade de energia irradiada pelo sol e a energia radiada pelos alvos terrestres (PONZONI *et al* 2007) independente da sazonalidade. Na Figura 6, observa-se uma amostra de água onde a energia é refletida pré-correção atmosférica alternando para absorção da energia eletromagnética na banda 1 do Landsat 5 TM após correção atmosférica, na sua forma usual sem interferência das variáveis atmosféricas.

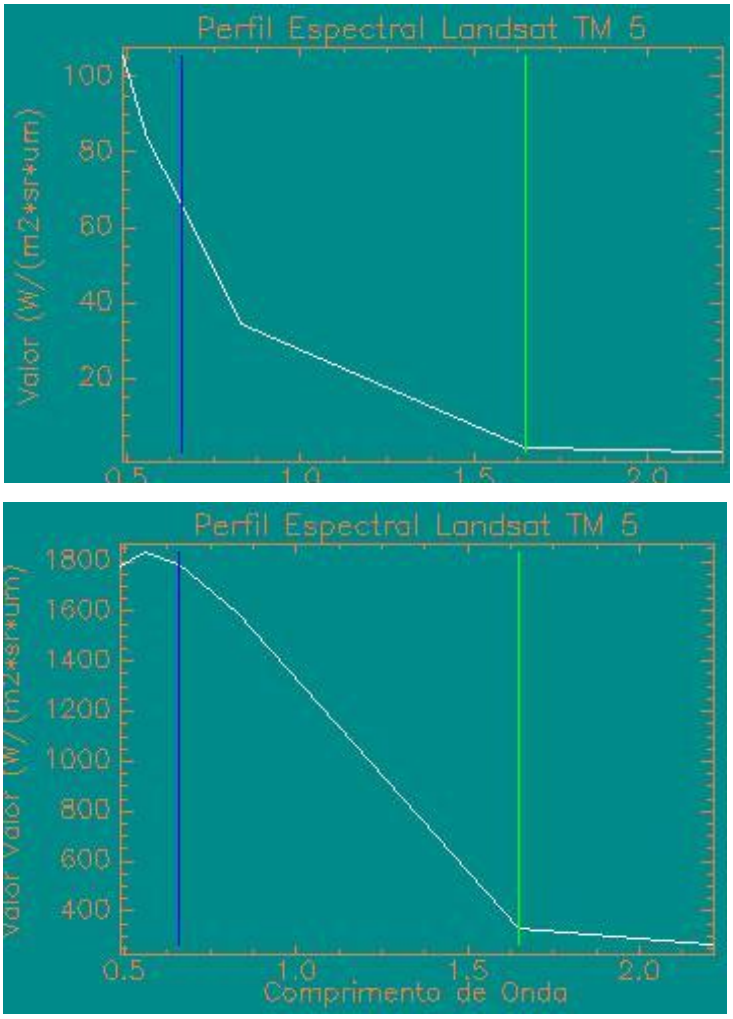


FIGURA 6. CURVA ESPECTRAL DE CORPO DE ÁGUA ANTES E APÓS CORREÇÃO ATMOSFÉRICA.

Foram analisadas as possibilidades de diferenciação espectral das feições alteradas por fogo na imagem de satélite. Esta avaliação foi realizada em caráter preliminar em virtude da imagem Landsat 5 TM ser limitada para análise espectral. Isto deve-se as poucas bandas espectrais - 6 bandas, e a amplitude dos canais espectrais variando de 0,07 µm a 0,27 µm com média de 0,13 µm. Para dar prosseguimento a estas análises amostras de áreas queimadas extraídas da imagem foram comparada com a biblioteca espectral da JPL-1 (Groove *et al* 1992) tendo como referência o mineral Grafite 1EA que apresenta semelhança com feição de área alterada pelo fogo..

Esta comparação gerou um índice de 51% de acerto. Notou-se que as áreas queimadas sobre solo litólico, relevo movimentado apresentaram as menores taxas de acerto na classificação – Figura 7A. Ao gerar amostra excluindo queimadas sobre solo litólico o acerto chegou a 81%, Tabela 4. Figura 7B. A mistura espectral de outros minerais sobre solo litólico estão dominando as amostras. Isto pode ser explicado devido a baixa quantidade de biomassa,

usualmente gramíneas ressaltando ai os outros compostos minerais sobre o composto Grafite 1 EA.

TABELA 4. AVALIAÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS DE ÁREAS QUEIMADAS OBTIDAS ATRAVÉS DA ASSINATURA ESPECTRAL DO GRAFITE 1 EADA BIBLIOTECA DO JET PROPULSION LABORATORY – JPL.

Feição	Amostras	Omissão	Comissão	Acurácia
Grafite	68	48,53%		51,47%
Grafite exceto solo litólico	61	18.03		81,96%

Ao analisar a Figura 8, pode-se observar que as melhores bandas para se obter uma assinatura espectral para o fogo estão entre os comprimentos de onda do infravermelho próximo e infravermelho curto. Pois, é onde se obtém as melhores separabilidade das áreas atingidas pelo fogo e as outras feições da paisagem. Nota-se, porém, que os canais do Landsat estão sobre pontos de absorção ou reflectância. Na banda 4 – infravermelho próximo existe uma distinção expressiva entre o fogo e as outras feições exceto água, pois ocorre sobreposição espectral. Na banda 5, ocorre uma sobreposição com outras feições de hidrocarbonetos. Neste canal ocorre uma mistura das áreas queimadas com o asfalto – Figura 9. A opção viável seria a criação de mascara para perímetros urbanos e rodovias. Isto atenuaria esta confusão espectral ocasionada pela limitação do sensor Landsat 5 TM.

Observa-se assim que análise espectral pode ser útil para regiões limitadas espacialmente e para distinguir alvos específicos ao ter como referência imagens multiespectral. O uso de sensor hiperespectral com número maior de canais, principalmente no infravermelho próximo e infravermelho curto poderia identificar os comprimentos de onda para distinção das áreas alteradas pelo fogo das outras feições da paisagem.

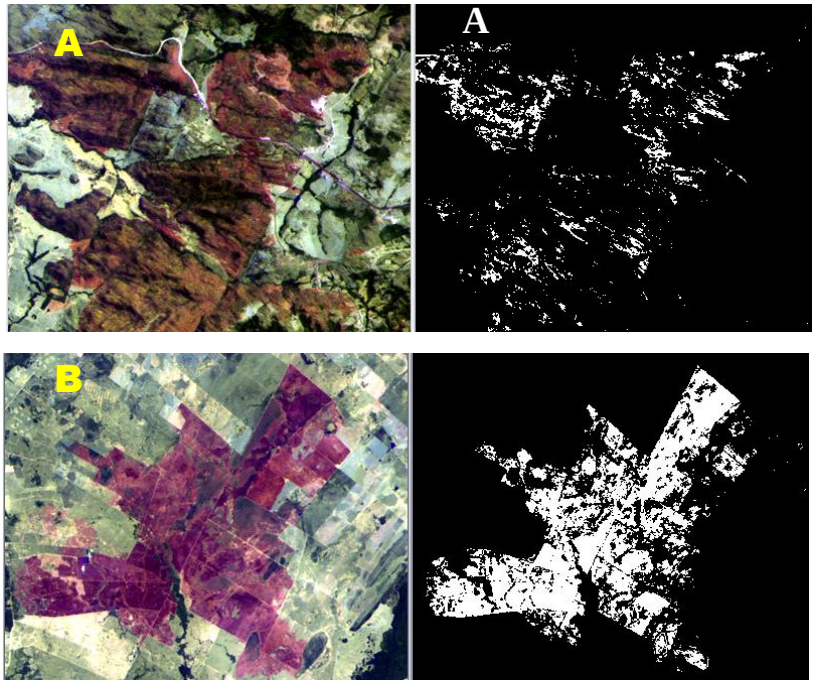


FIGURA 7. ÁREAS CLASSIFICADAS SOBRE RELEVO MOVIMENTADO COM SOLO LITÓLICO (A) E SOBRE SOLO ARENO-ARGILOSO OBTIDAS ATRAVÉS DA ASSINATURA ESPECTRAL DO GRAFITE 1 E NA IMAGEM LANDSAT 5 TM 226/71 DE 18/09/2007.

Após esta etapa de avaliação preliminar do espectro das áreas queimadas foi buscado um procedimento aritmético para classificar as áreas alteradas pelo fogo. Analisando ainda as diferenças entre estes picos de absorção e reflectância observado no gráfico do perfil espectral tentou-se gerar uma razão de bandas - Figura 8.

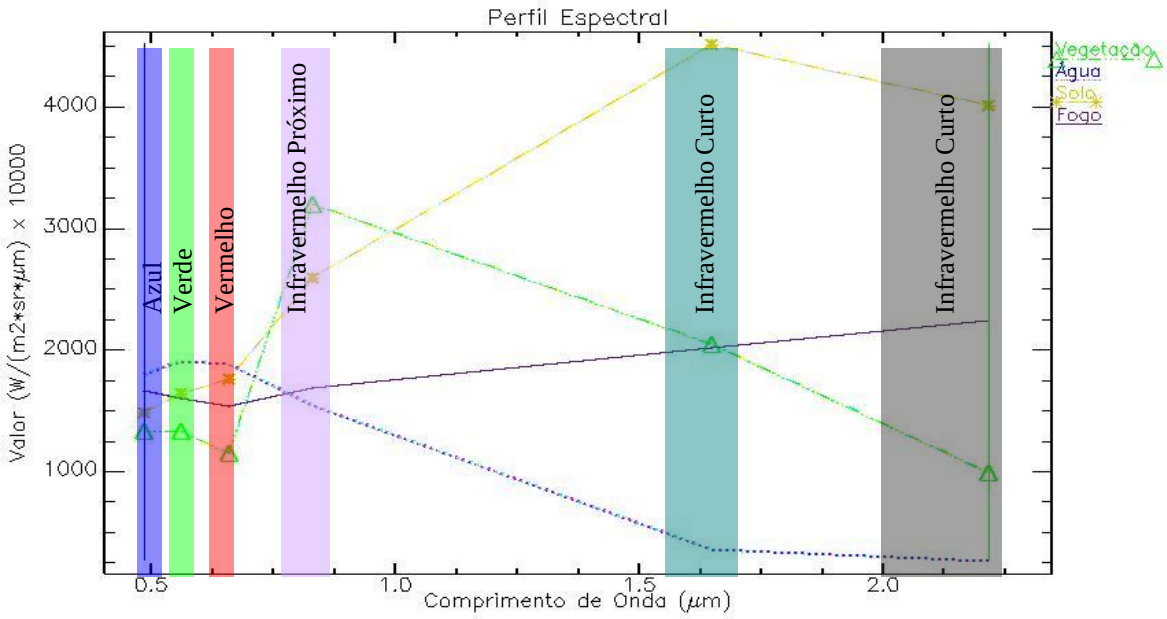


FIGURA 8. RESPOSTA ESPECTRAL DA VEGETAÇÃO (TRAÇO VERDE), ÁGUA (TRAÇO AZUL), SOLO (TRAÇO AMARELO) E FOGO (TRAÇO ROXO) DISTRIBUÍDA RESPECTIVAMENTE NAS BANDAS 1, 2, 3, 4, 5, E 7 DO LANDSAT 5 TM E EXTRAÍDAS DA CENA 226/71 DE 18/09/2008.

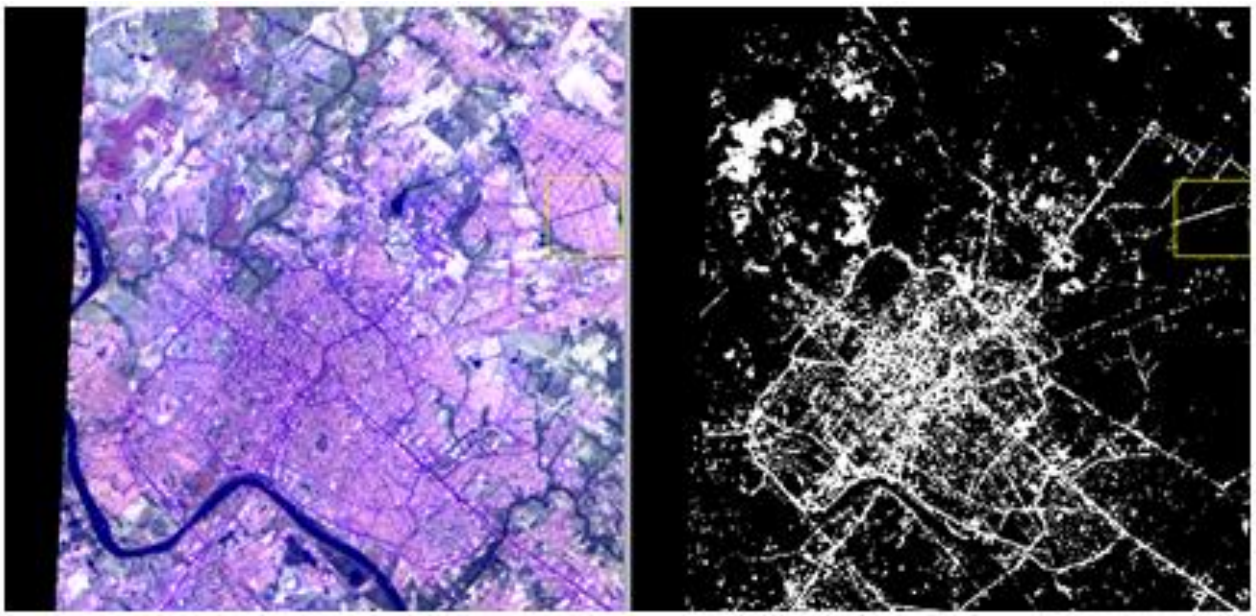


FIGURA 9. MISTURA ESPECTRAL ENTRE ASFALTO E A ASSINATURA ESPECTRAL DO GRAFITE 1 E A ÁREA URBANA DE CUIABÁ/MT OBTIDA NA IMAGEM LANDSAT 5 TM 226/71 DE 18/09/2007.

A mesma distinção pode ser observada individualmente em cada uma das bandas do Landsat 5 TM – Figura 10. Na banda 1 e 2, azul e verde respectivamente observa-se que está sujeita a maior interferência de eventos de baixa freqüência como nuvens e fumaça. Logo, estas bandas podem ser descartadas em qualquer análise quando houver cobertura parcial ou

total de nuvem ou fumaça. Na banda 3 – vermelho, ocorre ainda a reflectância da água e também do solo destacadas nas regiões mais claras na imagem em contraste com a vegetação com tons mais escuros que absorvem a energia eletromagnética neste comprimento de onda. Na banda 4 – infravermelho próximo ocorre a absorção na água, solo e fogo com os tons mais escuros e reflete mais a vegetação tons mais claros. Na banda 4, está a melhor distinção visual das áreas alteradas pelo fogo daquelas cobertas por solo e vegetação. Esta mesma constatação foi realizada por PEREIRA e SETZER (1993). Acontece ai uma sobreposição dos valores de reflectância da água e do fogo o que não permite distinguir facilmente entre ambas as classes, Figura 8. Foi testado somente a banda 4, com uma composição multitemporal de um período sem fogo com outra imagem da mesma área coberta com fogo não distinguiu tão bem as áreas queimadas devido a sazonalidade de eventos como quantidade de sedimentos na água, deciduidade da vegetação. Isto acaba por alterar significativamente os números digitais e não permite uma distinção evidente de queimada ou incêndio florestal e água. Nas bandas 5 e 7 a absorção maior é da água, vegetação e das áreas alteradas pelo fogo na banda 5. Sabe-se que a banda 5 e 7 sempre apresentam redundância nos dados com valores expressivos de correlação superior a 0,9 (ROSA 2007). Somente para confirmação foi gerada uma matriz de correlação entre as bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 da imagem 226/71 de 18/09/2009, Tabela 5. Apesar da correlação de 0,95 entre as bandas 5 e 7, verificou-se que ocorre uma maior absorção na banda 5 das áreas alteradas pelo fogo, Figura 10, em relação a banda 7. Isto permite uma distinção do fogo entre as duas bandas.

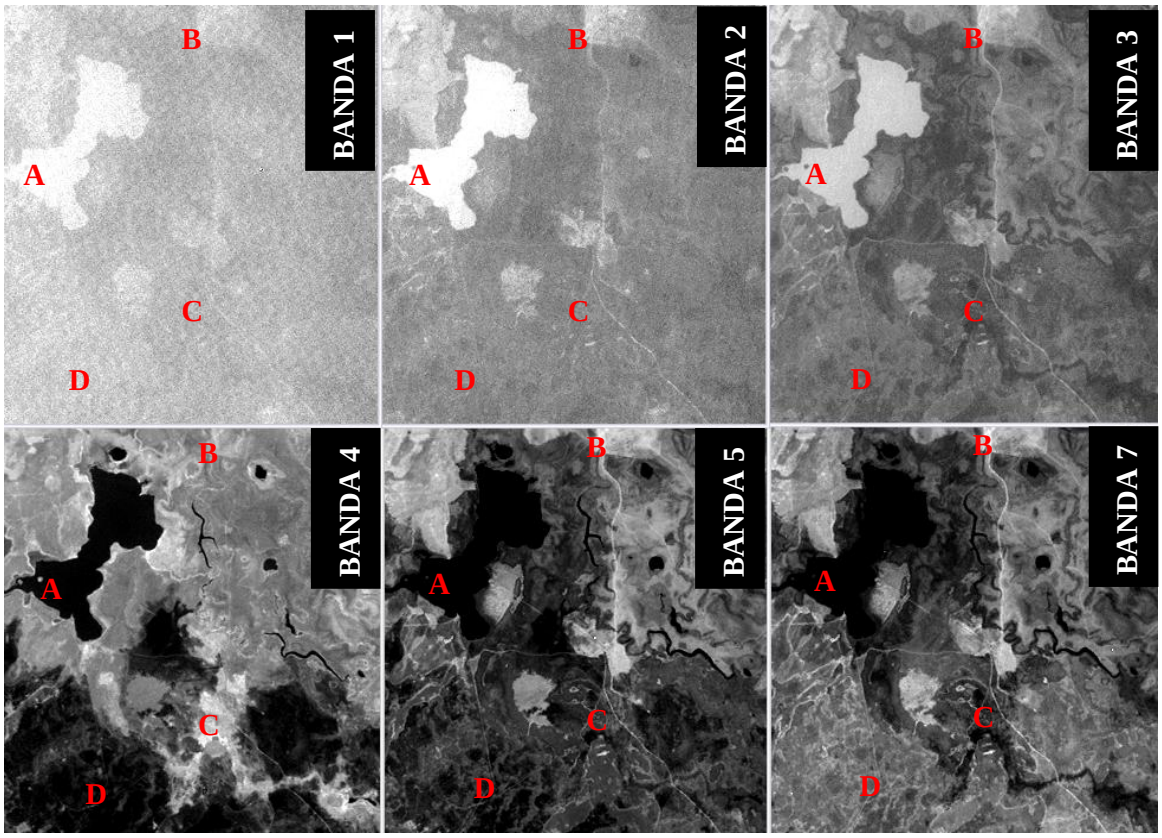


FIGURA 10. BANDAS DO LANDSAT 5 TM ILUSTRANDO AMOSTRAS DE ÁGUA (A), SOLO EXPOSTO (B), VEGETAÇÃO (C) E ÁREA ALTERADA PELO FOGO (D). BANDA 1 – AZUL, BANDA 2 – VERDE, BANDA 3 – VERMELHO, BANDA 4 – INFRAVERMELHO PRÓXIMO, BANDA 5 – INFRAVERMELHO CURTO E BANDA 7 – INFRAVERMELHO CURTO.

Desta forma, verificou-se que a melhor composição falsa-cor, ou RGB, para se distinguir visualmente as áreas alteradas pelo fogo das outras feições é a junção das bandas 7, 5 e 2. Porém, como a banda 2 sempre pode estar coberta com nuvens e fumaça, comportamento típico do período de queimadas, pode-se trocá-la pela banda 3. Ai consegue-se facilmente distinguir áreas úmidas, sombra das áreas queimadas – Figura 11. Ocorre uma pequena confusão em áreas com águas rasas usualmente em bordas de canais de água, ilhas ou bancos de areia submersos. Nesta composição o que temos na verdade seria ideal para se trabalhar com umidade do solo, já que une canais que a água absorve a energia eletromanética- banda 5 e 7, e reflete – banda 3. Por isso ficou fácil distinguir zonas úmidas: áreas inundáveis ou alagadas, das feições de fogo. Isto usualmente não ocorre na composição de falsa cor RGB mais comum que são as bandas 5, 4 e 3, Figura 11.

TABELA 5. MATRIZ DE CORRELAÇÃO ENTRE AS BANDAS DO LANDSAT 5 TM ESTIMADAS DA CENA 226/71 DE 18/09/2007.

	Banda 1	**Banda 2**	**Banda 3**	**Banda 4**	**Banda 5**	**Banda 7**
Banda 1	1.00					
Banda 2	0.99	1.00				
Banda 3	0.93	0.97	1.00			
Banda 4	0.86	0.89	0.86	1.00		
Banda 5	0.76	0.82	0.90	0.76	1.00	
Banda 7	0.69	0.76	0.86	0.61	0.95	1.00

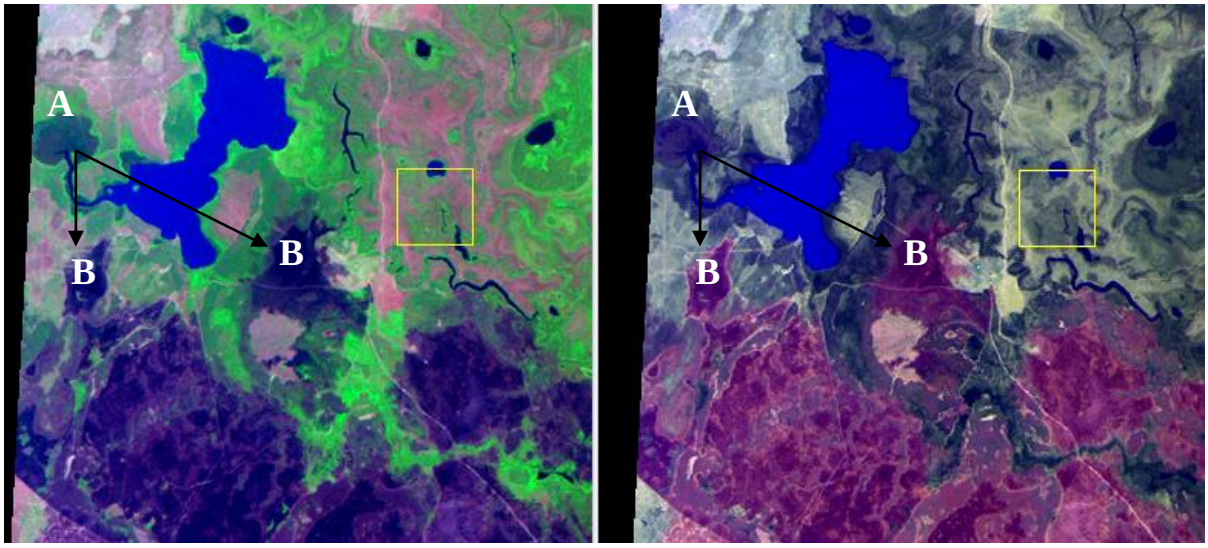


FIGURA 11. COMPARATIVO ENTRE A COMPOSIÇÃO 5(R), 4(G), 3(B) E 7(R), 5(G), 3(B) PARA DISTINGUIR ZONAS ÚMIDAS – A, DE ÁREAS ALTERADAS PELO FOGO – B, NA IMAGEM LANDSAT 5 TM.

Após estas análises preliminares foram implementadas algumas tentativas para se isolar as áreas queimadas das outras feições através de um procedimento aritmético simples.

Os métodos de classificação de imagens de satélite de modo supervisionado exigem que se determinem as amostras de referência para realizar a classificação. Já os métodos não supervisionados não exigem a geração de amostras, porém exige amplo conhecimento do intérprete da área analisada para agrupar as feições similares. Por isso a melhor opção para um modelo manter o seu erro padrão é aquele que não é necessário a intervenção direta do usuário final tendo que somente inserir os dados iniciais.

Foram geradas dois testes para a separação das áreas queimadas das outras feições. A vantagem de um modelo similar a este seria evitar a interação direta do intérprete diminuindo os erros associados à coleta de amostras com erro.

Pode-se observar que as bandas do vermelho, infravermelho próximo e no infravermelho curto apresentam uma distinção entre áreas afetadas pelo fogo os outros fenômenos – Figura 8 e Figura 10. No infravermelho próximo, banda 4, permite a melhor distinção entre as ações do fogo a vegetação e o solo. Há uma confusão com a água. Diante desta constatação foi buscado um procedimento com geração de máscara para ocultar a água numa imagem antes de sofrer as ações do fogo. Assim fez-se uma diferença de imagens para destacar as áreas queimadas. Ocorreram outras alterações na paisagem seja por fatores sazonais como a deciduidade da vegetação o que gerou muito ruído e este teste foi abandonado.

A razão de bandas com a composição banda 4 e banda 5, formada pela fórmula 2, observou-se que não houve uma separabilidade entre as amostras de áreas alteradas pelo fogo e as outras feições o índice de Jeffreis-Matusita apresentou uma separabilidade de 1.164 – Figura 12. Já utilizando as bandas 3 e 7, fórmula 3, obteve-se uma separabilidade de 1.99 utilizando as seis bandas. Ao utilizar as amostras de áreas alteradas, tendo como parâmetro seu intervalo mínimo e máximo para, para realizar um fatiamento na imagem o resultado não é satisfatório – Figura 13. O limiar ficou separado estatisticamente entre -0.25 e -0.08 havendo, porém confusão entre solo e áreas queimadas.

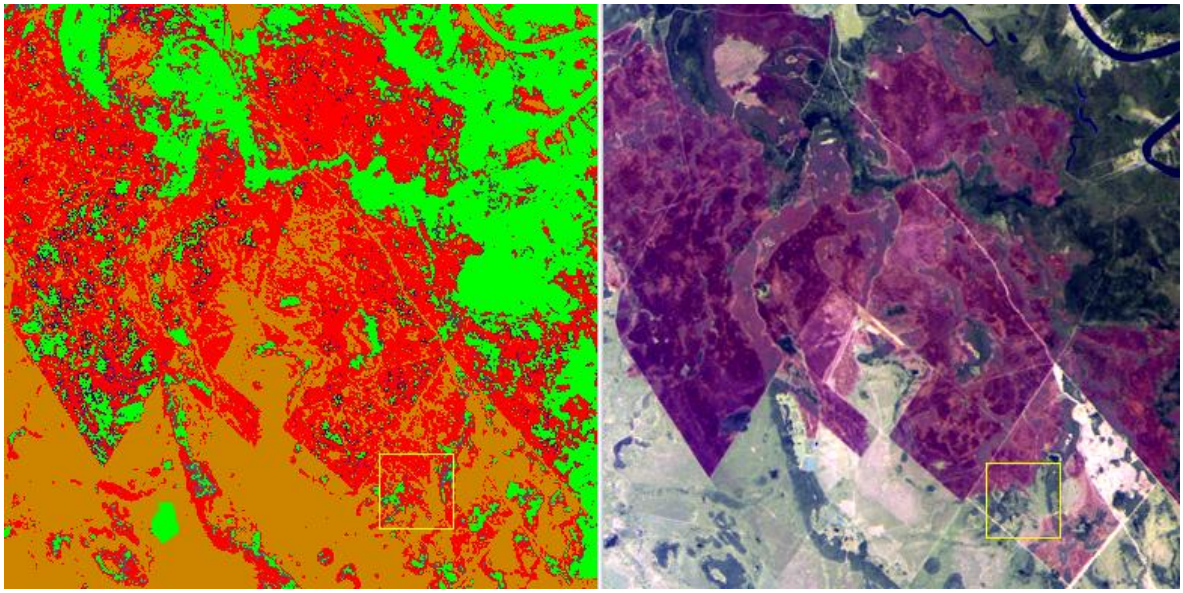


FIGURA 12. IMAGEM FATIADA ATRAVÉS DO ÍNDICE OBTIDO PELA RAZÃO DAS BANDAS 4 E BANDA 5 DO LANDSAT 5 TM COMPARADA A IMAGEM ORIGINAL A DIREITA.

F2 = (b4-b5)/(b4+b5) Fórmula 2

F3= (b3-b7)/(b3+b7) Fórmula 3

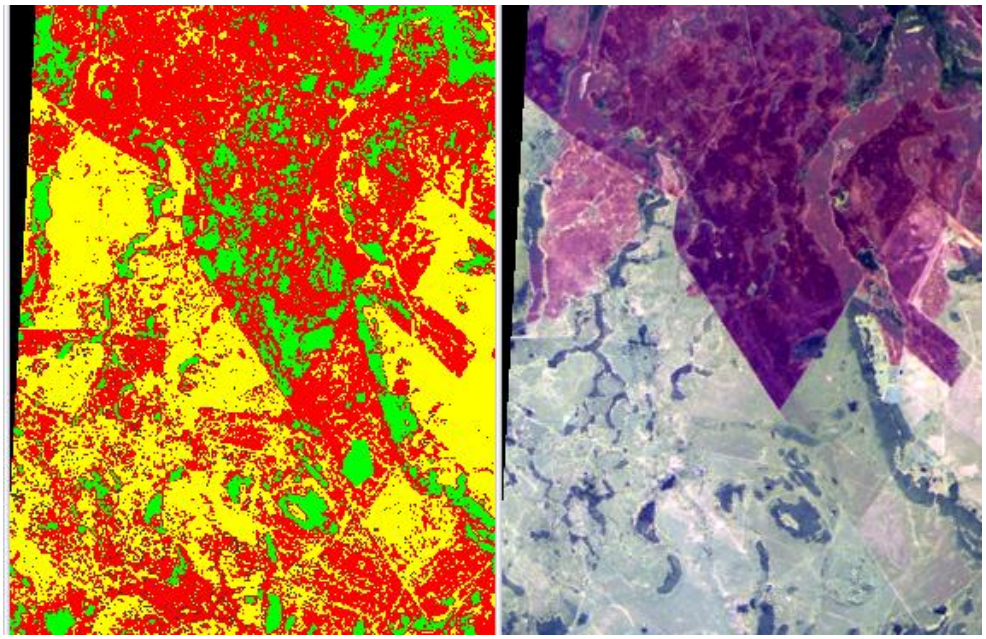


FIGURA 13. IMAGEM FATIADA – ESQUERDA, ATRAVÉS DO ÍNDICE OBTIDO PELA RAZÃO DA BANDA 3 E BANDA 7 DO LANDSAT 5 TM COMPARADA COM IMAGEM ORIGINAL.

Após estas tentativas buscou-se um modelo não-linear para distinguir duas classes: áreas não alteradas e áreas alteradas pelo fogo. O modelo escolhido foi o de Máquina de Suporte a Vetores ou "Suport Vector Machine". Algoritmos associados a este modelo baseiam-se em premissa linear (distância mínimas dos quadrados) e não-linear (radial e polinomial). A modelagem não-linear permite um ajuste dos dados de forma que é considerado generalista (TSO e MATHER 2009).

O modelo mais clássico, radial, permitiu uma menor demanda de hora/processamento enquanto que o modelo poliniomal permite buscar um ajuste dos dados em detrimento da interação do usuário, mas quanta maior o número de polinômios maior o tempo de processamento o que pode inviabilizar esta técnica para grandes volumes de dados. O modelo gaussiano conforme TSO e MATHER (2009) apresentam resultados mais satisfatórios O modelo de Máquina de Suporte a Vetores foi inicialmente desenvolvido como um modelo binário (TSO e MATHER 2009) e a técnica aqui implementada seguiu este modelo.

Os membros mais puros, *Endmembers*, foram coletados em gráfico de dispersão bi-dimensional tendo como eixos as bandas 5 e 7.

Os resultados apresentados por esta técnica conseguiu agrupar por pixel-a-pixel as áreas atingidas pelo fogo – Figura 14. Ao utilizar 10% da amostragem dos pixels de validação o resultado da Matriz de Confusão gerou um índice de 95% de acurácia. Algumas feições cobertas por vegetação gramínea sobre litossolos, área urbanas, rodovias e queimadas mais antigas apresentam mistura espectral o que dificulta sua distinção. Estas áreas nem foram coletadas amostras para classificação e nem validação. Por isso se deve a este índice de 95%. Será necessária a avaliação de outras opções de classificação para agrupar as áreas alteradas por fogo nestas feições mais problemáticas.

Existem diversas premissas que permitiriam diferenciar as feições de áreas alteradas pelo fogo das outras fisionomias da paisagem.

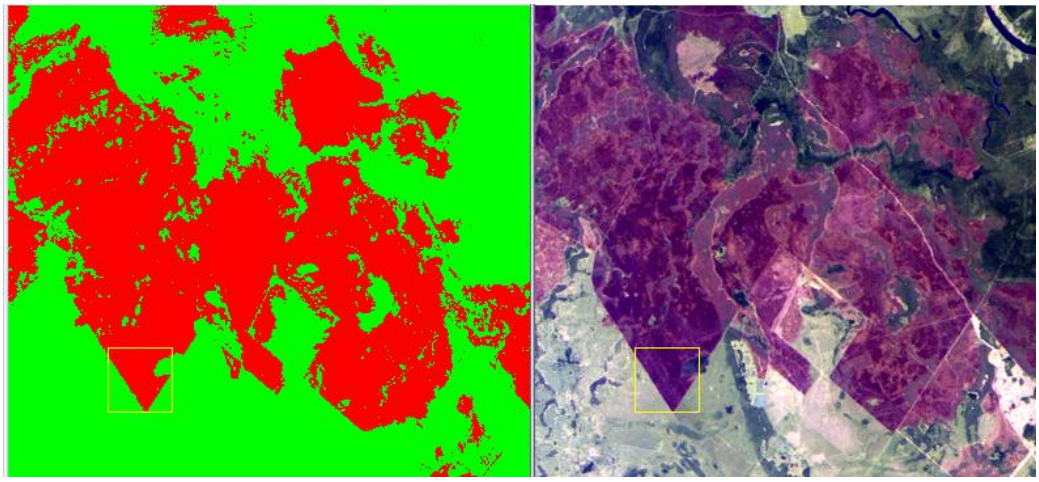


FIGURA 14. CLASSIFICAÇÃO ATRAVÉS DO MODELO MÁQUINA DE SUPORTE A VETORES – ESQUERDA, COMPARADA A IMAGEM ORIGINAL A DIREITA.

Podem-se utilizar os pigmentos da vegetação – clorofila, caroteno, protoclorofila e xantofila (PONZONI 2001) e fazer o contraste das áreas com pigmento e aquelas que o perderam. Entretanto, esta perda de pigmentação pode estar associado a deciduidade da vegetação, ação de agentes exógenos: patologias, intervenção humana através de agentes desfoliantes entre outros. Apesar de não serem eventos comuns podem comprometer análises em áreas mais extensas. Além disso, ao analisar a Figura 8, é possível analisar que a uma proximidade entre as feições de água vegetação, solo e área queimada nos canais do visível onde ocorre a absorção da energia eletromagnética por estes pigmentos o que em sensores multiespectrais pode comprometer a separabilidade destes alvos.

Outra perspectiva mais comum seria utilizar o índice de vegetação. Neste índice busca-se uma razão de bandas oriundas da relação entre vegetação e solo indicando o vigor da

vegetação (PONZONI 2001). Utiliza-se uma banda que reflete o solo e outra que reflete a vegetação. Gera-se uma razão de bandas e assim é possível distinguir sazonalmente área com predominância de vegetação. Esta técnica já foi avaliada por ANDERSON *et al* (2005), com o uso de imagens MODIS, os resultados não foram satisfatórios já que não foi possível determinar um limiar para distinguir áreas afetadas por fogo devido a sazonalidade.

4. CONCLUSÕES

- A análise espectral mostrou que é possível distinguir feições da paisagem alteradas pelo fogo dos outros alvos terrestres.
- Avaliação com dados de sensores hiperespectral nos canais do infravermelho próximo e curto são necessário para se determinar as feições de absorção que pode distinguir áreas alteradas pelo fogo das outras feições da paisagem.
- A melhor composição para distinguir visualmente as ações do fogo das outras feições da paisagem são as bandas 7(R), 5(G), 3(B).
- A razão de bandas do vermelho com o infravermelho curto e do infravermelho próximo com o infravermelho curto não geraram limiares ótimos para separabilidade das feições de fogo na paisagem.
- O modelo de Máquina de Suporte a Vetores apresentou resultados satisfatórios na classificação das áreas alteradas pelo fogo em áreas planas e sem vias pavimentadas com asfalto.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, L. O, OLIVEIRA, L. E. C., LIMA, A., E SHIMABAKURO, E. 2005. Detecção de cicatrizes de áreas queimadas baseada no modelo linear de mistura espectral e imagens índice de vegetação utilizando dados multitemporais do sensor MODIS/TERRA no estado do Mato Grosso, Amazônia brasileira**. Acta Amazônia**, 35(4), 445-456.

BATISTA, A. C. 1990. **Incêndios florestais.** Universidade Federal Rural de Pernambuco. 114 p.

CAMPBELL, J B. 1987. **Introduction to remote sensing**. The Guillard Press. New York. 551 p.

CHUVIECO, E., CONGALTON, R. G. 1989. Application of remote sensing and geographic information systems to Forest fire hazard mapping. **Remote Sés. Environ.** 29. 147-159.

COUTO E SILVA, G. 1967. **Geopolitica do Brasil**. J Olympio. 275 p.

EUROPEAN SPACE AGENCY – ESA. 2009. Meteosat second generation. In: http://www.esa.int/overview. Acesso em 12/05/2009.

FULLER, M. 1991. **Forest fires**. An introduction to wildland fire behavior, management, firefighting and prevention. Wiley Nature Editions. New York. 238.

GONZALEZ, R. C and WOODS, R. E. 2008. **Digital Image Processing**. 3rd Edition. Prentice Hall. 976 p.

GOUMA, V., CHRONOPOULOU-SERELI, A. 1998. Wildland fire danger zoning - a methodology. **Int. J. Wildland Fire** 8(1). 37-43.

GRAÇA, P. M. L. A., FEARNSIDE, P. M., CERRI, C. C. 1999. Burning of Amazonian forest in Ariquemes, Rondônia, Brazil: biomass, charcoal formation and burning eficiency. **Forest Ecology and Management**, 120, 179-191.

GROVE, C. I., HOOK, S. J., AND PAYLOR, E. D., 1992, Laboratory reflectance spectra for 160 minerals 0.4 - 2.5 micrometers: **JPL Publication** 92-2, Jet Propulsion Laboratory, Padadena, CA.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA – IBGE. 2008. População. Censo 2000. In: www.ibge.gov.br/sidra/bda/tabela/. Acesso em 5/01/2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA. 2003. **Geo Brasil 2002** – Perspectivas do Meio Ambiente no Brasil.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. 2008. Projeto Proarco. In: http://sigma.cptec.inpe.br/queimadas. Acesso em 12/03/2009.

LILLESAND, T. M, KIEFFER, R. W. 1987. **Remote Sensing and image interpretation.** 2nd Edition. John Wiley & Sons. New York. 721 p.

LIODAKIS, S., BAKIRTZIS, D., DIMITRAKOPOULOS, A. 2002. Ignition characteristics of Forest species in relation to termal analysis data. **Termochimica Acta**, 390. 83-91.

MATHER, P. M. 1999. **Computer processing of Remotly-Sensed Images: An Introduction, 2nd Edition.** Jhon Wiley & Sons.306 p.

MATUS, C. 1997. **Política, planejamento & governo**. 3ª Edition. Editora do Instituto de Pesquisa Econômica e Aplicada. Tomo I. Brasília. 59-62

MENDONÇA, M. J. C., DIAZ, M. Del CARMEN V., NEPSTAD, D., MOTTA, R. S., ALENCAR, A., GOMES, J. C., ORTIZ, R. A. 2004. The economic cost of the use off ire in the Amazon. **Ecological Economics,** 49. 89-105.

MENESES, P. R. 2001. Origem das feições espectrais. In: **Sensoriamento remoto**. Reflectância dos alvos naturais. Editora UnB/ Embrapa. 43-62.

MORTON, D. C., DEFRIES, R. S., SHIMABUKURO, Y. E., ANDERSON, L. O., ARAI, E., ESPIRITO-SANTO, F. DEL B., FREITAS, R., MORISETTE, J. 2006. Cropland expansion changes deforestation dynamics in the southern Brazilian Amazon. **Proceeding of the National Academy of Science of the United States of America,** 103(39). 14637-14641.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION – NASA. 2009. TIROS. In: HTTP://nasascience.nasa.gov/missions/tiros. Acesso em 03/02/2009.

NEPSTAD, D. MOREIRA, A, G., ALENCAR. A. A. 1999. **Floresta em chamas**. Origens, impactos e prevenção do fogo na Amazônia**.** Edição Revisada. Programa Piloto para a Proteção das Florestas tropicais do Brasil. Brasília. 202 p.

NOVO, EVYLIN M. L. MORAES. 1992. **Sensoriamento remoto.** Princípio e aplicações. 2ª Edição Editora Blucher. São Paulo. 308.

PEREIRA, M.C.; SETZER, A.W. 1993. Spectral characteristics of fire scars in Landsat-5/TM images of Amazonia, **Int. Journal Remote Sensing**. 14(11):2061-2078.

PEREIRA, J. A R., SETZER, A. MAURANO, L. E. 2004. Visão atual do sistema de monitoramento de fogo na América do Sul. In: **VI Semin. de Atualização em Sensor. Remoto e Sistemas de Informações Geográficas aplicados à Engenharia Florestal** - Aplicações de Geotecnologia na Engenharia Florestal. Out/2004. 245-254.

PONZONI, F. J, ZULLO JUNIOR, J., LAMPARARELLI, R. A. C. 2007. **Calibração absoluta de sensores orbitais**. Editora Parêntese, São Paulo. 67 p.

PONZONI, F. J. 2001. Comportamento espectral da vegetação. In: **Sensoriamento remoto**. Reflectância dos alvos naturais. Editora UnB/ Embrapa. 157-201.

RICKLEFS, R. E. 1996. **A economia da natureza.** 3ª Edição. Editora Guanabara-Koogan. Rio de Janeiro. 470 p.

ROSA, R. 2007. **Introdução ao sensoriamento remoto**. EDUFU. Uberlândia. 247 p.

SANTOS, R. D.; FILHO, A. de C.; NAIME, U. J.; OLIVEIRA, H.; MOTTA, P. E. F.; BARUQUI, A. M.; BARRETO, W. O.; MELO, M. E. C. C. M.; PAULA, J. L.; SANTOS, E. M. R.; DUARTE, M. N. In: MMA. *PCBAB* – **Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai. Diagnóstico dos Meios Físico e Biótico**, v. 2, t. 1, p. 129-308, 1997.

SHIMABAKURO, Y. E., DUARTE, V., MOREIRA, M. A., ARAI, E., VALERIANO, D. M., ANDERSON, L. O., ESPIRITO SANTO, F. DEL BOM. 2007. Desflorestamento na Amazônia – Sistema DETER. In: **O sensor MODIS e suas aplicações ambientais no Brasil**. Org. Rudorff, Shimabakuro, Ceballos. Editora Parênteses. São Paulo. 389-401.

SOARES, J. V., BATISTA, G. T., SHIMABAKURO, Y. E. 2007. Histórico e descrição. In: **O sensor MODIS e suas aplicações ambientais no Brasil**. Org. Ruddorf, Shimabakuro, Ceballos. Editora Parênteses. São Paulo. 3-22.

TSO, B., MATHER, P. M. 2009. **Classification methods for remotely sensed data.** 2nd Edition. CRC Press. Boca Raton.356 p.

VAREJÃO-SILVA, M. A. 2006. **Metereologia e Climatologia**. Versão Digital 2. Recife. 463 p.

WHELAN, R. J. 1995. **The ecology of fire**. Cambridge University Press. Cambridge. 346 p.